

Melhoria de ligações estruturais em autocarros

CaetanoBus

António Pedro Bandeira Lage da Costa Lopes

Relatório do Projecto Final

CaetanoBus: Engenheiro Mário Filipe Dias Fernandes

FEUP: Prof. Paulo Tavares de Castro



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2009

Resumo

Este relatório apresenta o estudo efectuado no âmbito do projecto de fim de curso do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da FEUP, realizado na empresa CaetanoBus, durante o segundo semestre do ano lectivo 2008/2009.

O trabalho levado a cabo, visou contribuir para a melhoria de ligações estruturais usadas em autocarros de turismo, pela empresa.

Os detalhes estruturais escolhidos para estudo e melhoria, são representativos de soluções correntemente usadas em mais do que um modelo da empresa e, portanto, de aplicação genérica. O contexto em que são feitos os estudos locais apresentados, é o da aplicação do Regulamento ECE ONU 66, que aborda o problema de autocarros em caso de capotamento.

Trabalhos anteriores na empresa, nomeadamente realizados por finalistas do curso de Engenharia Mecânica da FEUP em anos anteriores, abordaram o problema da concepção global da estrutura, mas não consideraram os problemas específicos de melhorias de projecto locais, que são agora abordados no presente trabalho.

São três as ligações que foram alvo de estudo:

- Pilar-Estrado
- Pilar-Tejadilho
- Ligação entre pilares

O estudo baseou-se na modelação de cada uma das ligações usando o método dos elementos finitos, tendo sempre a preocupação de sustentar, por reflexões válidas, qualquer consideração ou simplificação inerente à representação do modelo real. Em particular, foi tida em consideração a limitação do software de cálculo no que diz respeito à impossibilidade de com o mesmo modelar as tensões residuais, devidas ao efeito da soldadura. A experiência existente na empresa, permitiu complementar as análises por elementos finitos com considerações sobre a viabilidade prática das soluções, levando a não considerar algumas soluções que à partida pareciam prometedoras.

Em anexo são apresentados trabalhos complementares levados a cabo na empresa, designadamente:

- Tentativa de determinação das propriedades físicas de uma chapa fictícia, que introduza a mesma rigidez num autocarro que uma chapa de aço colada à sua estrutura introduziria. A importância deste estudo para a empresa resulta de, com o tipo de elementos finitos utilizado para a modelação do autocarro completo, não ser possível modelar a tira de cola existente entre o chapeamento e os painéis laterais. Desta forma, colocar-se-ia na modelação do autocarro uma chapa fictícia equivalente, com propriedades físicas adequadas.
- Ainda no âmbito do estudo da estrutura do autocarro levado a cabo neste projecto, foi desenvolvida uma macro de EXCEL que visa resolver outro problema da empresa, decorrente de esta ter descontinuado o uso do software StressLab e ter passado, recentemente, a usar o software ANSYS. A macro desenvolvida, permite traduzir os dados de entrada – por exemplo a modelação completa da estrutura – de um software para uma forma utilizável pelo outro.
- Já na área da Engenharia Industrial, foram ainda desenvolvidas duas macros, em EXCEL. Uma macro permite que, numa folha em EXCEL feita pela empresa destinada à especificação do produto, baste ao utilizador introduzir determinadas características de um veículo para o programa fornecer, de forma automática, o código do veículo correspondente. A outra macro programada, indica ao utilizador os materiais que devem ser encomendados, assim como as respectivas quantidades, através do cruzamento automático de dados de alguns ficheiros com informação relevante para o efeito.

Abstract

This report presents the final project of the integrated master's degree in Mechanical Engineering of FEUP, carried out in the firm CaetanoBus during the 2nd semester of 2008/2009.

The work performed consisted in the improvement of some structural connections used in company's Touring Buses.

The selected structural connections for this study, are representative of solutions currently used in more than one model, implying a generic application of the work performed. The background of these studies is the application of the Regulation ECE/ONU n° 66, which deals with the safety of tourism buses in rolling over situations.

The earlier works made at CaetanoBus by FEUP's final year students dealt with the global construction issues, excluding the specific improvement of local nodes, which is the subject of the present report.

Three nodes will be studied:

- Pillar-floor
- Pillar-roof
- Connections within pillars

This work is based on the numerical simulation of each connection using the finite element method. Any considerations or simplifications were always reported and substantiated. In particular, software limitations concerning the difficulties of modeling residual stresses due to the welding process were taken in consideration. The current expertise and know-how of the company made it possible to complement the finite element analyses with additional considerations concerning the practical viability of some of the proposed solutions, leading to the rejection of some of them.

In annex some additional works performed in the firm are presented:

- Attempt to determine the physical proprieties of a fictitious plate which would induce the same stiffness in a bus as a steel plate connected to the structure with a structural adhesive. The importance of this study results of the impossibility of modeling the adhesive strip existing between the bus structure and the steel plate in the current finite element software and elements (StressLab) used in the firm to model the bus structure. Once the fictitious plate characteristics are determined, they could be used in the bus modeling.
- Always within the scope of the structural study of the bus, a macro was developed aiming at solving a problem due the StressLab's discontinuation, and the recent usage of ANSYS. This macro allows to translate the input data – the complete structure model, for instance – between both packages, enabling ANSYS to read that StressLab data.
- Finally, under the Industrial Engineering subject, two EXCEL macros were also developed. One of them is able to automatically provide the code of a vehicle when the user introduces certain vehicle characteristics in an EXCEL specification product worksheet. The other macro provides the materials which must be ordered, along with their specific quantities, by automatically crossing the data between some EXCEL files.

Agradecimentos

É importante referir que o desenvolvimento do trabalho efectuado, também se deveu à colaboração de alguns intervenientes que, de forma directa ou indirecta, contribuíram para a elaboração deste projecto de fim de curso.

Agradeço à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e à Empresa CaetanoBus a oportunidade de realizar este projecto, providenciando condições excelentes para a sua elaboração.

É de especial importância mencionar as personalidades que de uma forma mais próxima intervieram na realização deste projecto. Pela Faculdade, o Professor Catedrático Paulo Tavares de Castro, pela disponibilidade, interesse e acompanhamento do desenvolvimento do projecto e por parte da CaetanoBus, o Engenheiro Mário Filipe Dias Fernandes pelo importante e inestimável apoio prestado a nível técnico, não esquecendo ainda o Engenheiro André Ramos que se mostrou sempre disponível para responder a qualquer questão que surgisse.

Foi também muito reconfortante, a forma hospitaleira como os colaboradores do Departamento ENG da empresa CaetanoBus me receberam, contribuindo para uma rápida integração na empresa.

Quero ainda agradecer à minha família pelo facto de ao longo destes quase 24 anos de estudos me terem proporcionado as melhores condições de trabalho possíveis, tanto a nível financeiro como pessoal.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Modelos produzidos pela empresa.....	2
1.2. Melhoria localizada de ligações estruturais	7
2. Estudos prévios e inovações introduzidas com o trabalho exposto	11
3. Ligação Pilar – Estrado	13
3.1. Determinação das zonas de tensão mais elevada.....	16
3.2. Quantificação dos valores encontrados de tensão.....	18
3.3. Solução 1 – Adição de dois perfis U.....	19
3.4. Solução 2 – Adição de dois perfis U, com outra orientação.....	22
3.5. Solução 3 – Adição de uma chapa	25
3.6. Solução 5 – Melhoria da Solução 4	31
3.7. Solução 6 – Solução Final	32
3.8. Resultados e considerações finais da Solução 6	35
4. Ligação Pilar – Arco do tejadilho	37
4.1. Factores negativos inerentes à solução actual.....	40
4.2. Solução 1 – Substituição da aba por uma chapa	42
4.3. Solução 2 – Peça vazada	43
4.4. Solução 3 – Versão melhorada da Aba	44
4.5. Considerações de cariz económico	45
4.6. Conclusão.....	50
5. Estudo da ligação entre pilares	51
5.1. Breve descrição e motivação do estudo da ligação.....	51
5.2. Descrição detalhada da ligação	52
5.3. Metodologia de estudo	53
5.4. Aferição teórica do melhor tipo de corte	54
5.6. Determinar se existem diferenças assinaláveis do tipo de corte, na ligação actualmente utilizada	60
5.7. Verificação da existência de vantagens consideráveis deste tipo de ligação, face a uma solução do tipo ligação topo-a-topo sem a utilização de reforços adicionais	66
5.8. Conclusões Finais	70

6. Propostas de trabalho futuras	71
6.1. Ligações estudadas no âmbito do regulamento ECE/ONU nº 66, [1,2].....	71
6.2. Ensaio relativos às soluções preconizadas.....	73
6.2.1. Construção das estruturas de ensaio da ligação pilar-estrado.....	73
6.2.2. Construção da estrutura de ensaio da ligação pilar-tejadilho – ensaio de abertura	81
6.2.3. Construção da estrutura de ensaio da ligação entre pilares	83
Anexo I - Tentativa de determinação de propriedades mecânicas de uma chapa equivalente ao conjunto chapa mais cola	85
Anexo II – Realização de macros em EXCEL	97
Referências.....	123

1. Introdução

A CaetanoBus é uma empresa que se dedica à produção de carroçarias e veículos para o transporte público de passageiros. Estas carroçarias são montadas sobre chassis de várias marcas com diferentes especificações, consoante as exigências dos clientes.

Fundada em Janeiro de 2002, resultou de uma parceria entre os Grupos Salvador Caetano e Daimler Chrysler, que nela participam através das suas representadas Saltano SGPS e Evobus Portugal, respectivamente com 74% e 26%. Em consequência, a CaetanoBus integrou na sua estrutura a Divisão Fabril de Gaia, até então pertencente à Salvador Caetano – IMVT.

Apesar de ser uma empresa relativamente recente, conta com a larga experiência adquirida pelos seus cerca de 600 trabalhadores ao longo de 50 anos de actividade desenvolvida na Divisão Fabril de Gaia, até então pertencente à Salvador Caetano – IMVT.

A fábrica ocupa uma área total de 150.000 m², 50.000 m² são cobertos (ver figura 1), os quais na sua maioria dizem respeito à área de montagem. Esta área dispõe de 5 naves principais, sendo duas de montagem que se repartem por uma linha de montagem de modelos em produção e outra para desenvolvimento de protótipos, uma de pintura, uma de acabamentos e, finalmente, uma de retoques finais para entrega de clientes. Existem ainda os armazéns de peças, materiais, tintas e dos comerciais pós-venda.



Figura 1- Instalações da CaetanoBus

1.1. Modelos produzidos pela empresa

São produzidos 3 tipos distintos de autocarros:

➤ Urbanos

Os autocarros de circuito urbano designam-se por City Gold (figura 2).



Figura 2 - City Gold

A funcionalidade, a ergonomia, o amplo espaço interior, a manutenção e a elevada segurança são os traços chave deste veículo.

➤ Inter-urbanos

Este tipo de autocarros, com capacidade que varia de 38 (modelo Tourino) a 115 passageiros (modelo Caetano Double-Deck), destina-se a viagens de médio a longo curso. Dentro desta categoria de autocarros existem os seguintes modelos:

- Winner



Figura 3 - Winner

O Winner (figura 3). é um novo conceito de autocarro, que pretende ser uma referência internacional nos veículos de transporte de passageiros. Propõe elementos inovadores, como por exemplo, a ausência de porta do lado do condutor, garantindo a este uma maior segurança rodoviária

- Levante



Figura 4 - Levante

O modelo Levante (figura 4), é uma referência internacional em veículos de transporte de passageiros de turismo, aliando a excelência do design à acessibilidade total. O seu nome deriva do movimento da plataforma elevatória associada ao novo MAGIC FLOOR permitindo o acesso a todos os utilizadores

- Enigma



Figura 5 - Enigma

O Enigma é um autocarro de Grande Turismo moderno e inovador, fruto da experiência de 50 anos da Salvador Caetano. O design apurado, a escolha criteriosa dos materiais com que está construído, os elevados níveis de segurança e a performance excepcional, fazem do Enigma um veículo extremamente confortável, tanto para os passageiros como para quem o conduz (figura 5).

- Tourino



Figura 6 - Tourino

O Tourino (figura 6) inaugura uma nova época no segmento dos autocarros de médio porte.

Concebido consistentemente como autocarro de turismo, com motor traseiro, proporciona um conforto em viagem ao mais alto nível das exigências, evidenciando-se também por uma elevada rentabilidade.

Transportando entre 30 a 38 passageiros, o Tourino é a solução ideal para o transporte de grupos de média dimensão, oferecendo ainda segurança avançada, ergonomia e design apelativo.

- Transporte de passageiros dentro do aeroporto



Figura 7 - Cobus

Uma das actuais preocupações dos aeroportos e das companhias de aviação, é a diminuição do tempo entre o chek-in e o embarque, e entre a aterragem e o levantamento das bagagens, tarefas perfeitamente cumpridas pelo Cobus 3000. Este moderno autocarro de

aeroporto assegura estas viagens de forma eficiente, rápida, económica e segura, transportando mais passageiros que qualquer outro modelo. As portas são largas e o piso pode rebaixar para permitir a entrada de crianças e pessoas com dificuldade de locomoção. A altura interior extra do Cobus 3000 faz com que o ar nunca fique saturado nem exageradamente quente. No entanto pode ser instalado, opcionalmente, um sistema de Ar Condicionado para os passageiros, sendo de série o AC para o condutor.

1.1.1. Enquadramento do departamento ENG na empresa

Todas as actividades realizadas no âmbito deste estágio, enquadraram-se no departamento de concepção e desenvolvimento designado por ENG. Este sector é responsável pela definição do produto, fornecendo aos sectores a jusante a informação necessária para a realização física do mesmo.

Como departamento integrante dentro da empresa, este coopera em toda a linha de desenvolvimento de um novo produto, com todos os outros sectores (figura 8). E cada um destes sectores possui uma linha de orientação de actividades bastante definida para que a interligação entre departamentos produza resultados produtivos.

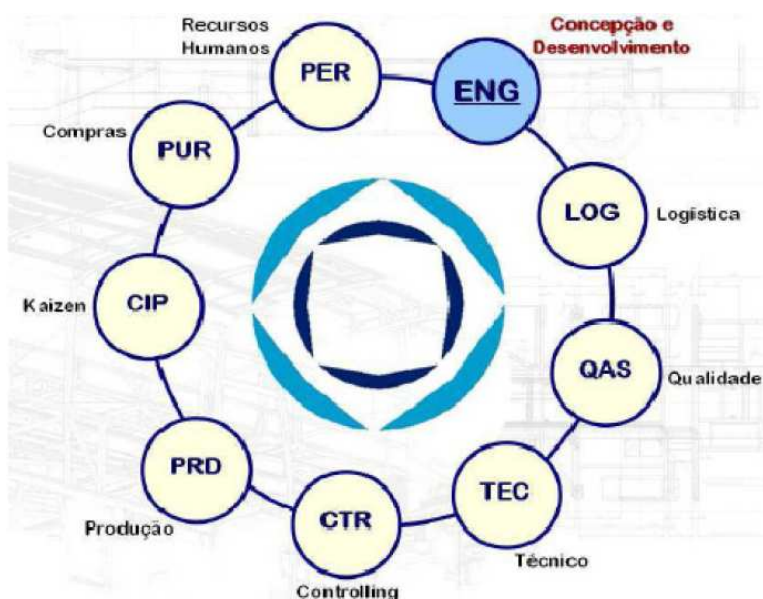


Figura 8 - Ligação entre os departamentos na CaetanoBus

Os organogramas CEO (figura 9) e funcional (figura 10) da CeatanoBus são os seguintes:

ORGANIGRAMA CEO

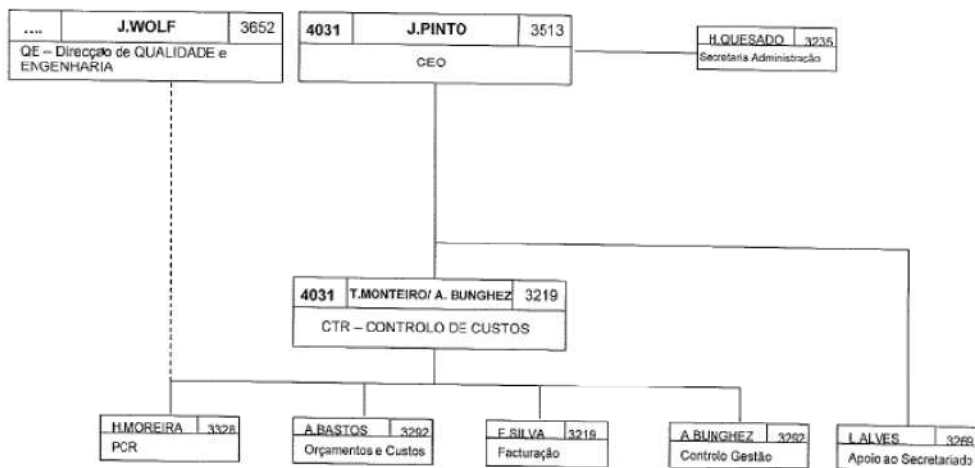


Figura - 9 Organograma CEO da CeatanoBus



ORGANIZAÇÃO DA EMPRESA

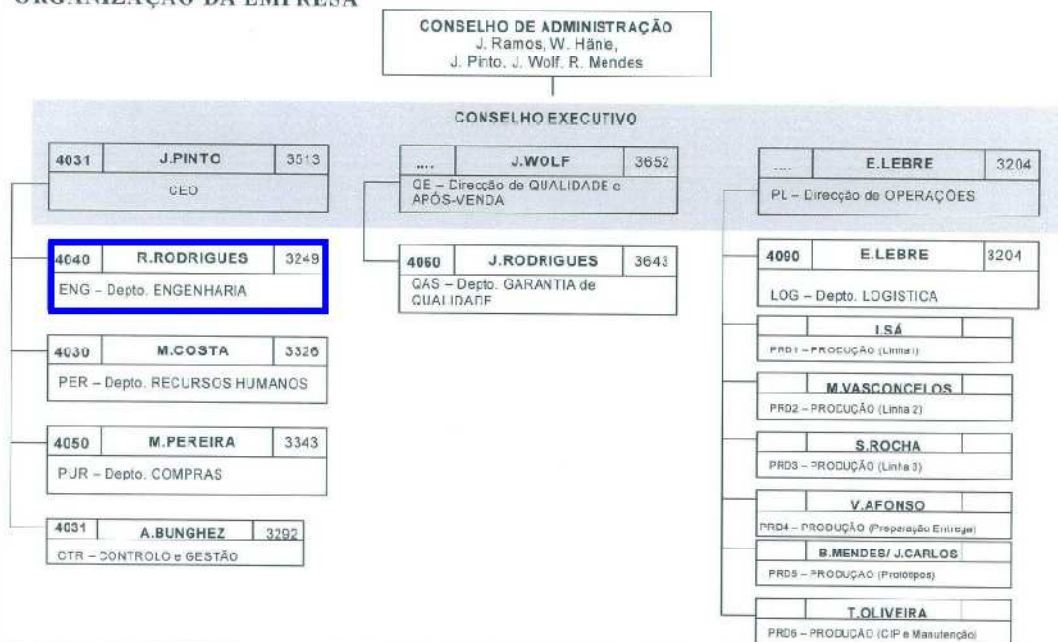


Figura - 10 Organograma funcional da empresa CeatanoBus

1.2. Melhoria localizada de ligações estruturais

No âmbito da obrigatoriedade da aplicação da Regulamentação ECE/ONU n.º 66 da Comissão Económica para a Europa [1] e correspondente Directiva da União Europeia [2] a todos os veículos de um só andar das classes II e III em vários países da União Europeia, foram efectuados estudos de melhoria nas ligações dos pilares ao arco do tejadilho e dos pilares ao estrado. Refira-se contudo que, até ao momento, a legislação portuguesa embora aceite veículos que cumpram esta legislação não a impõe como obrigatória. No entanto, devido à grande importância que o mercado de exportações representa para a empresa CaetanoBus, é de todo conveniente que se efectuem estudos nesse sentido.

➤ Regulamentação ECE/ONU n.º 66 da Comissão Económica para a Europa, [1,2]

Esta regulamentação pretende estabelecer parâmetros técnicos na concepção da superestrutura de veículos pesados de passageiros, entendendo-se superestrutura como “a(s) parte(s) da estrutura do veículo que contribuem para a resistência deste em caso de acidente com capotamento”.

➤ Definições gerais

Algumas definições são de importante explicação antes de prosseguir, numa breve descrição deste regulamento:

- “Espaço residual”: “O espaço que deve subsistir no compartimento dos passageiros durante e depois de um dos ensaios da estrutura prescritos...”;
- “Secção da carroçaria”: uma secção que contenha pelo menos dois montantes verticais idênticos de cada lado e seja representativa de uma ou mais partes da estrutura do veículo;
- “Energia total”: “A energia que se considera ser absorvida por toda a estrutura do veículo. ...”

➤ Especificações e requisitos gerais

Para uma superestrutura ser homologada deve estar em conformidade com as especificações e requisitos gerais a enunciar:

A superestrutura do veículo deve ter uma resistência suficiente para garantir que, durante e após a aplicação de um dos métodos de ensaio presentes nesta regulamentação,

- Nenhuma parte do veículo invada o espaço residual;
- Nenhuma parte do espaço residual pode sobressair da estrutura deformada, por exemplo, os assentos dos passageiros devem manter-se fixos em caso de capotamento.

Foi com base nesta regulamentação que foram melhorados os nós “intervenientes” no capotamento, isto é, os nós correspondentes às ligações pilar-estrado e pilar-tejadilho (figura 11).

1.2.1. Ligações estruturais estudadas no âmbito do regulamento ECE/ONU n° 66

Tal como foi referido, a escolha destas duas ligações não foi aleatória. Como se depreende, em caso de capotamento, são duas zonas sujeitas a grandes esforços de flexão (figura 13).

Aproximando uma secção de um autocarro, a uma estrutura porticada (figura 12), e aplicando uma força simulando o tipo de solicitação que a estrutura de um autocarro estaria sujeita em caso de capotamento, é possível ter uma ideia da distribuição do momento flector nos perfis de modo a percebermos que nesses dois pontos referidos, existem de facto valores consideráveis de esforços, no caso de um capotamento.

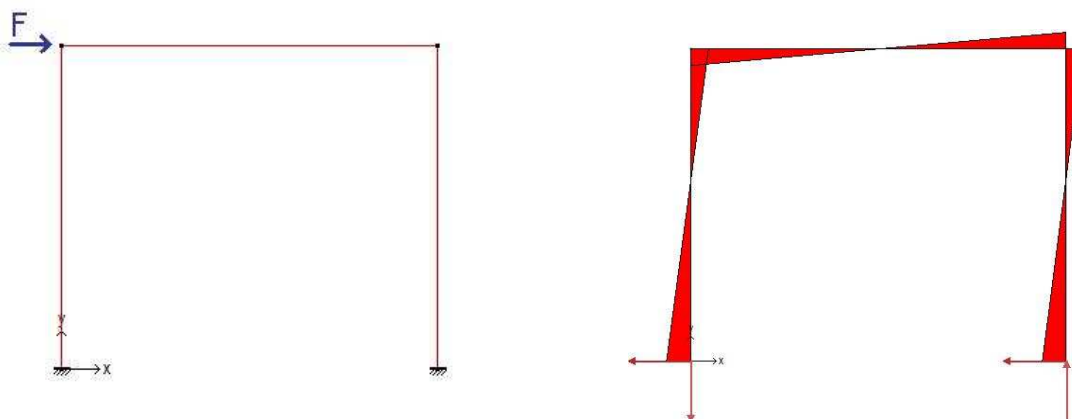


Figura 12 - Representação esquemática de uma solicitação de capotamento e respectivo diagrama de momentos flectores

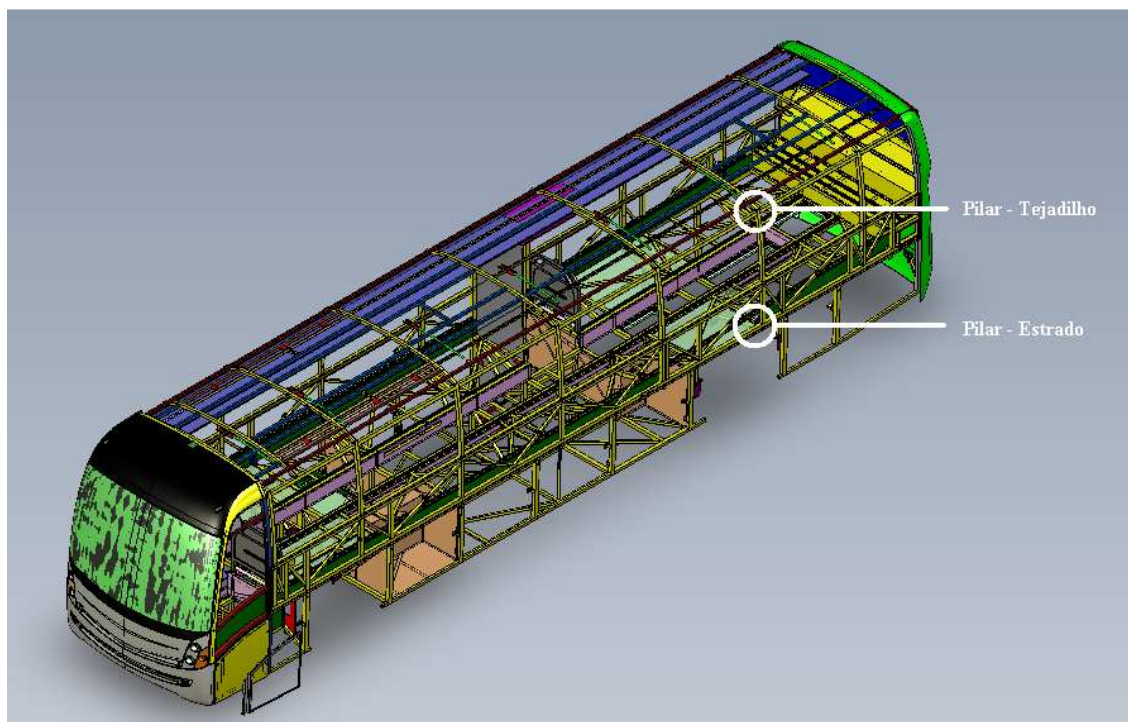


Figura 13 - Localização das zonas de estudo

1.2.2. Método de estudo das ligações

Para efectuar o estudo das referidas ligações, foi necessário começar por fazer uma representação local do objecto de estudo em SolidWorks [3]. Pretende-se desta forma, através do método dos elementos finitos (com a aplicação COSMOS [4] integrada naquele ambiente), simular vários tipos de solicitações, avaliar os casos mais críticos (aqueles que induzem valores de tensões mais elevados), localizar as zonas mais esforçadas para que desta forma se possa optimizar a distribuição de tensões, ou seja, diminuir os pontos de tensões mais elevada e/ou distribuir mais uniformemente os valores de tensão.

Importa referir que este tipo de estudos, segue uma filosofia iterativa, isto é, são testadas várias soluções até se chegar a uma solução melhor do que a anterior.

Tal como foi anteriormente referido, este método não só permite a localização de concentração de tensões que de outra forma não eram detectáveis como também possibilita testar uma grande variedade de soluções, sem que isso implique os custos e a demora dos testes reais.

No entanto, devido à existência de factores que não são previstos aquando da modelação de um objecto em estudo, nomeadamente fenómenos de tensões residuais provocados pelo arrefecimento dos cordões de soldadura ou outro tipo de situações desconhecidas, a validação prática não deve ser descurada.

2. Estudos prévios e inovações introduzidas com o trabalho exposto

Embora a modelação em elementos finitos da estrutura resistente de um autocarro tenha sido iniciada nos anos 90 na empresa, só a partir 2003 foi efectuada de uma forma sistemática e de forma mais rigorosa através do ex-estagiário António Morais [5].

O seu trabalho incidiu na modelação e análise da distribuição de tensões nos vários elementos constituintes de um autocarro, modelando situações exigentes sob o ponto de vista estrutural, como por exemplo, a subida do passeio. Também em 2006-2007 foi feito um estudo de redução de peso da estrutura do autocarro pelo ex-aluno André Ramos [6] (actualmente a laborar na CaetanoBus), recorrendo uma vez mais a uma análise global do mesmo.

Apenas foram referidos alguns exemplos deste tipo de análise, constatando-se que até à presente data não foram ainda efectuados estudos locais. É precisamente através desta abordagem que o trabalho desenvolvido pelo autor surge.

Refira-se no entanto que as duas abordagens não estão dissociadas. A decisão de se efectuar um estudo local de uma determinada ligação pode surgir, pelo facto de através de uma análise da estrutura resistente do autocarro existir a ocorrência de concentrações elevadas de tensões numa localização específica, sugerindo uma análise local.

No entanto, duas das ligações estudadas surgiram no âmbito do cumprimento de regulamentações que visam a segurança dos passageiros numa situação de capotamento, ao passo que a restante surgiu com o objectivo de redução de custos alterando o seu método de execução.

Só com uma análise deste tipo foi possível efectuar o estudo das referidas ligações, verificando quais as influências que cada solução encontrada tinha, através da modelação em elementos finitos das mesmas.

3. Ligação Pilar – Estrado

Foi feito um estudo prévio pela empresa a esta ligação, que consistia em verificar se a utilização de um aço de melhor qualidade, implicaria um aumento significativo na energia absorvida pela ligação. Para isso foi efectuado um provete da ligação (figura 14), sujeitando-o a esforços e através de um gráfico força/deformação, seria possível comparar a energia absorvida do aço actualmente com o novo material.



Figura 14 - Provete de ensaio da ligação pilar-estrado

O primeiro passo do processo de optimização desta ligação foi a sua modelação em COSMOS/Solidworks (figura 15),

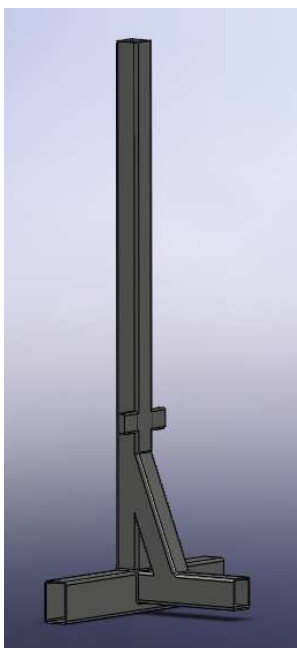


Figura 15 - Representação do objecto de estudo

Antes de prosseguir, é necessário fazer uma descrição de alguns detalhes nesta representação que serão de importante relevância na aferição da validade de algumas soluções encontradas, nomeadamente no que concerne as tensões induzidas por cordões de soldadura não percepcionáveis na representação em SolidWorks. Para o efeito, foram colocados números na figura 16, indicando os perfis utilizados, e as zonas que foram sujeitas a soldadura estão marcadas com um risco de cor vermelha.

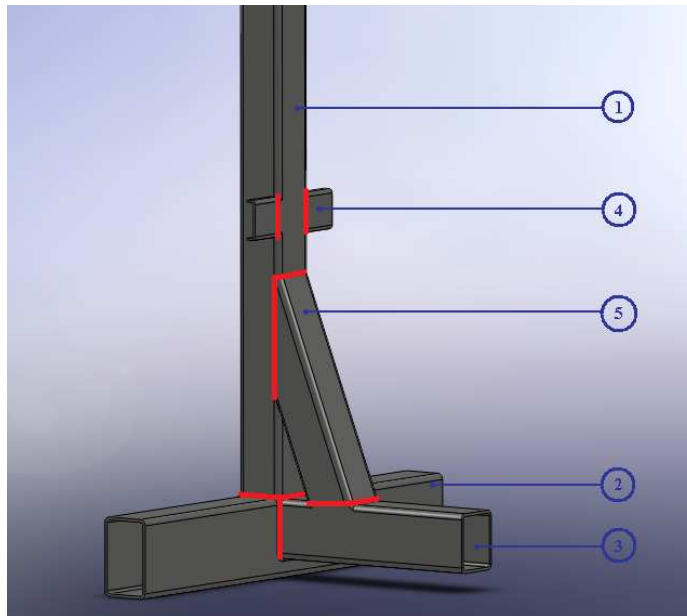


Figura 16 - Localização das soldaduras

Descrição

1 – Perfil de secção quadrada: correspondente ao pilar do autocarro.

2 – Perfil de secção rectangular: perfil longitudinal ao autocarro, sobre o qual se apoiam os pilares do autocarro, assim como as diagonais e montantes que constituem o painel.

3 – Perfil de secção rectangular: perfil transversal ao autocarro.

4 – Perfil U: Perfil de suporte aos assentos de passageiros. Embora este perfil não adicione qualquer rigidez adicional à ligação em estudo, pretende-se saber se os cordões de soldadura necessários à sua ligação com o pilar, influenciarão negativamente um local relativamente próximo onde se verificará posteriormente a existência de grandes concentrações de tensões, aquando do teste real.

5 – Perfil de secção rectangular: perfil com a função de fornecer estabilidade estrutural à ligação.

➤ Nota adicional:

Embora não sejam visíveis os cordões de soldadura, estes foram tidos em consideração no cálculo por elementos finitos, não pela indução de tensões residuais, mas pelo conhecimento que na ligação entre perfis, através da soldadura, nem sempre se obtém penetração do mesmo sobre toda a espessura de um perfil. Deste modo, sempre que é necessária a ligação de dois perfis através de um cordão de soldadura, e nos quais não seja efectuada nenhuma preparação de bordos, é feito um afastamento físico de 0,5mm entre as secções a soldar, e a ligação entre os mesmos é feita por um cordão que apenas penetra 1,5mm no caso de perfis com 3mm de espessura (figura 18). Assim modela-se de uma forma mais fiel a realidade, evitando algum optimismo nos resultados, pois uma ligação entre perfis, na qual se considere como ligação a área total da secção a ligar, é substancialmente mais resistente do que uma ligação onde a soldadura não consiga penetrar totalmente na espessura do material.

Supondo que se pretendia modelar uma ligação topo-a-topo (figura 17) entre dois perfis de secção quadrangular, o resultado seria o apresentado,

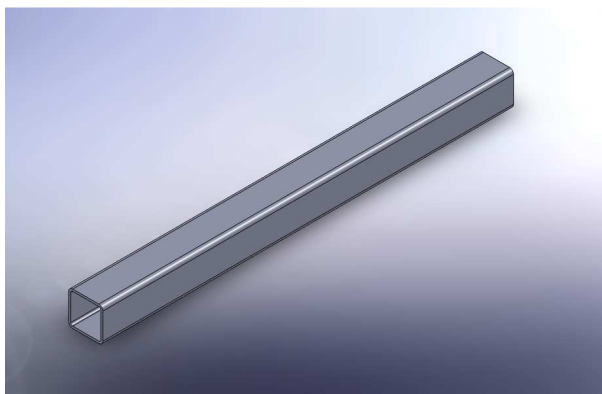


Figura 17 - Ligação entre dois perfis

Embora não seja visível que estão neste momento ligados dois perfis de comprimento de 200mm, seccionando esta peça, é possível observar o pormenor da soldadura anteriormente referido:

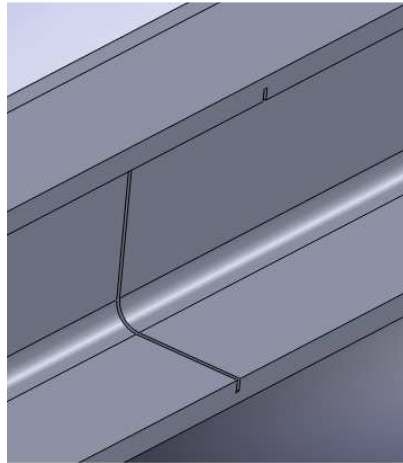


Figura 18 - Pormenor do cordão de soldadura

Como é observável, existe de facto um espaçamento entre os dois perfis, como também é possível constatar a penetração parcial do cordão de soldadura.

Esta filosofia foi adoptada em todas as soldaduras, para que a modelação contabilizasse este tipo de “defeito” inerente ao processo de ligação de peças referido.

3.1. Determinação das zonas de tensão mais elevada

É importante o conhecimento das zonas de concentração de tensões elevadas do objecto de estudo para assim se proceder com a melhor precisão possível. Para isso aplicou-se uma solicitação idêntica (embora estática) à que um capotamento provocaria na estrutura.

Existem duas solicitações distintas a que a estrutura em estudo pode estar sujeita, tal como se pode observar pelas imagens:

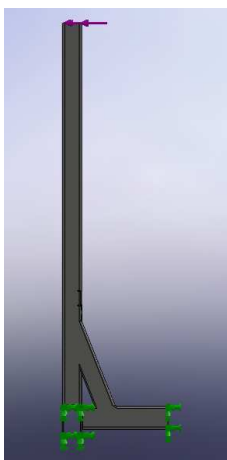


Figura 19 - Sentido de abertura

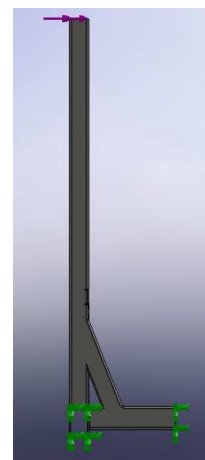


Figura 20 - Sentido de fecho



Figura 21- Provete em fase de ensaio de fecho

A solicitação no sentido de fecho (figura 20) ocorre quando em caso de capotamento, o pilar se encontra no lado do autocarro no qual se dá o impacto; a outra situação (sentido de abertura), sucede no pilar do flanco oposto (figura 19). Um provete real em fase de ensaio pode ser visto na figura 21.

Uma vez definidas as solicitações possíveis, com as respectivas condições de fronteira (representadas na modelação, figura 22), verificar-se-á a localização da zona onde se encontra as tensões mais elevadas.

Sentido de abertura

Distribuição de tensões globais Von Misses:

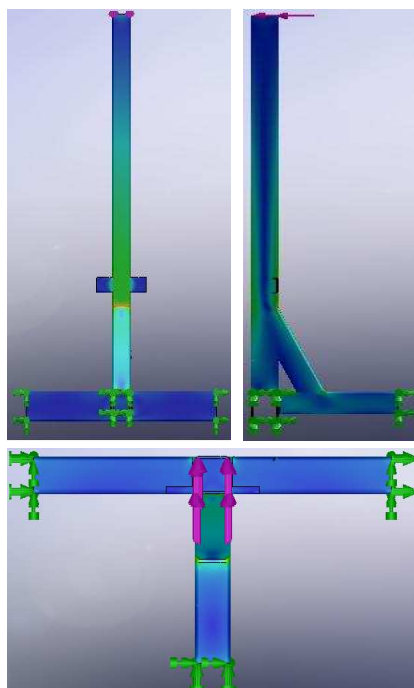


Figura 22 - Distribuição de tensões equivalentes

Como é visível, através do mapa de cores de distribuição das tensões (figura 23) o local crítico de tensões no sentido de abertura é o evidenciado na figura seguinte,

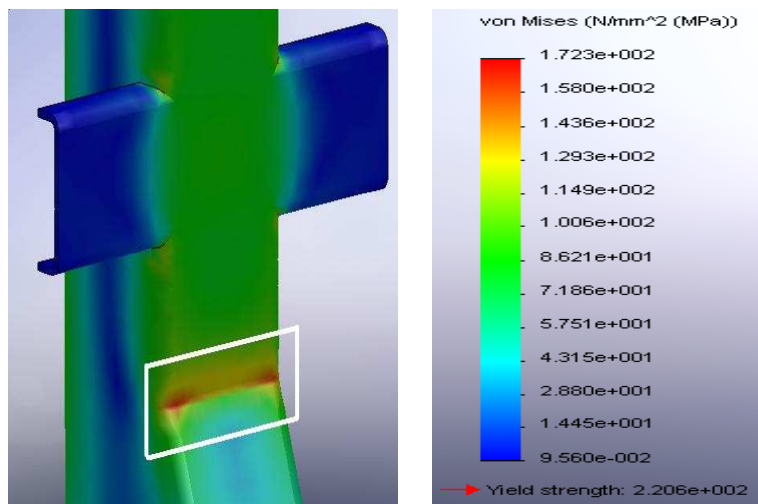


Figura 23 - Zona mais solicitada

Nota: Não é necessário estudar a localização da zona crítica da estrutura segundo a solicitação no sentido de fecho, pois o resultado seria o mesmo, isto é, o valor nominal máximo da tensão encontrado seria o mesmo, uma vez que a modelação foi efectuada em regime elástico.

3.2. Quantificação dos valores encontrados de tensão

Embora o carácter deste estudo seja qualitativo, isto é, pretende-se apenas diminuir ou distribuir de forma optimizada as tensões localizadas, é útil saber em concreto o valor dessas tensões (figura 24) para que após a melhoria da ligação se tenha percepção da diminuição relativa das mesmas.

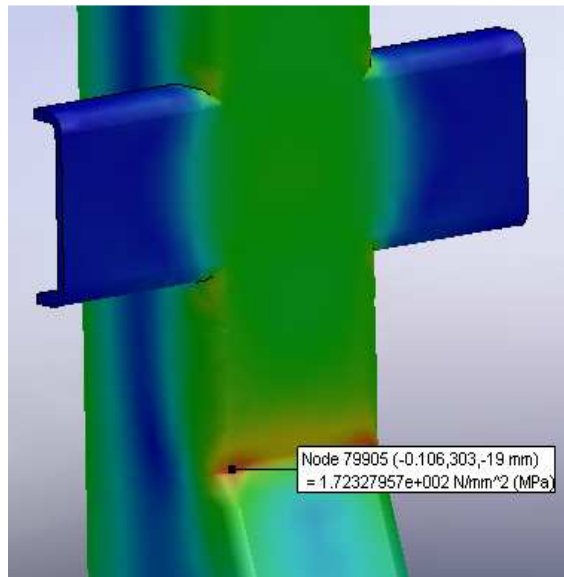


Figura 24 - Valor de tensão de referência

3.3. Solução 1 – Adição de dois perfis U

A primeira solução estudada, foi a aplicação de um perfil U de cada lado do pilar (figura 25) de forma a diminuir as tensões na zona localizada como sendo crítica.

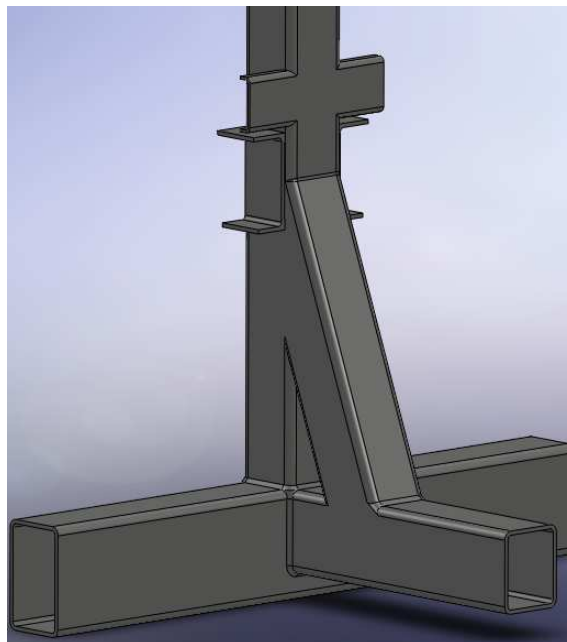


Figura 25 - Representação da solução 1

Embora possa parecer que a disposição dos perfis U's é a mais correcta, pois desta forma resistem mais à flexão quando o pilar é solicitado, esta solução apresenta vários problemas que passam a ser enunciados:

1 – Cordão de Soldadura utilizado

O cordão de soldadura utilizado para a ligação destes perfis foi aplicado no topo e na base dos mesmos como se constata na figura 26,

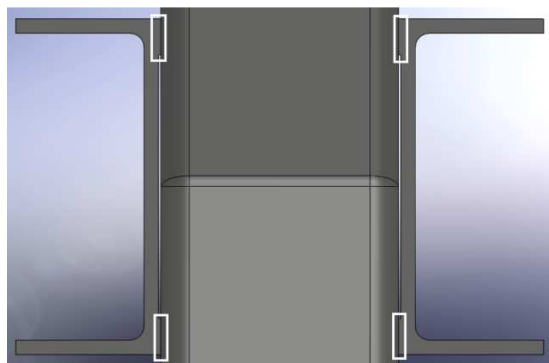


Figura 26 - Localização das soldaduras dos perfis U's

Não é boa prática executar-se cordões de soldadura perpendiculares à direcção dos esforços ¹. O que acontece, é que de facto o cordão aparece precisamente numa situação do tipo da referida. Regista-se ainda que existe uma transição de tensões de tracção para compressão à qual o cordão fica sujeito, como é observável na figura 27,

¹ A ref. [7], REAE edição 1986, indica como boa prática que “*não devem executar-se cordões de soldadura perpendiculares à direcção do esforço de tracção*” (art. 34º). Ainda que relativa a outro tipo de estruturas, entende-se que esta recomendação é de aplicação genérica em construção soldada.

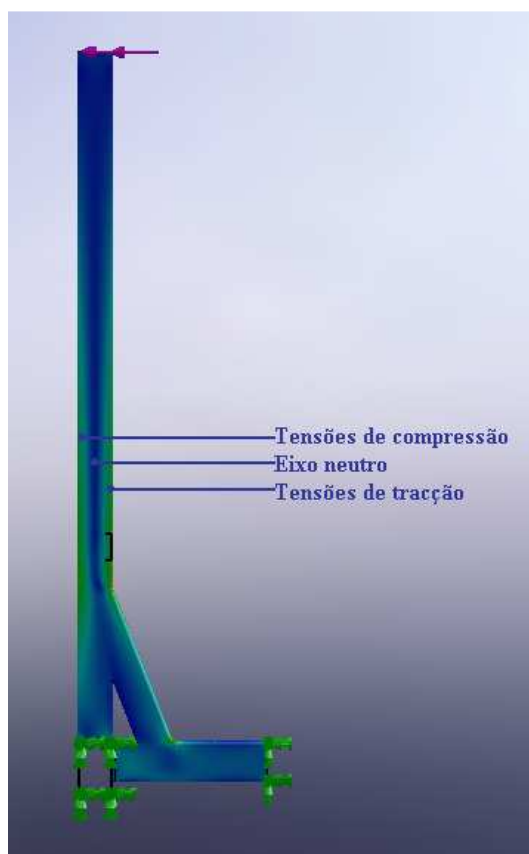


Figura 27 - Localização do tipo de tensões, perante uma solicitação de abertura

2 – Orientação dos perfis

Como anteriormente foi possível constatar a orientação dos perfis não era a melhor, uma vez que o modo como os perfis estão orientados, embora ofereçam mais resistência à sua própria flexão, não produz o efeito desejado no alívio das tensões no local anteriormente definido como crítico. As abas dos perfis U's, deveriam estar orientadas de modo a que estas coincidisse com a orientação das fibras em esforço do pilar, para que desta forma parte do esforço de tracção/compressão fosse suportado pelas abas, aliviando a zona crítica.

Como prova prática do enunciado, atente-se na figura 28 o valor registado de tensão máxima com a adopção desta solução,

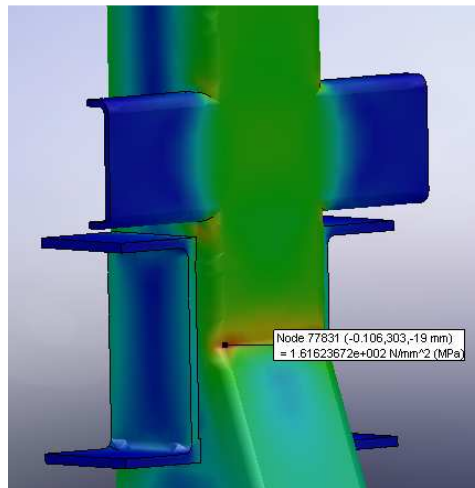


Figura 28 - Valor registado da tensão após a aplicação da Solução 1

As expectativas confirmam-se, através de uma pequena redução dos níveis de tensão rondando os 6%.

3.4. Solução 2 – Adição de dois perfis U, com outra orientação

Depois das conclusões ilativas da Solução 1, decidiu-se alterar a orientação dos perfis U's (figura 29). No entanto, esta solução também apresenta algumas questões que importa referir.

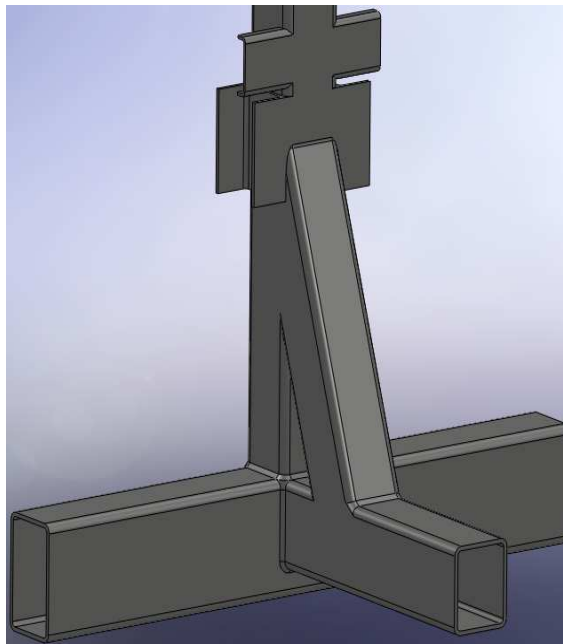


Figura 29 - Representação da solução 2

1 – Cordão de soldadura utilizado

O cordão de soldadura necessário para efectuar a ligação pretendida, incorre de várias situações adversas, que serão enunciadas:

a) Cruzamento de cordões de soldadura (figura 30)

Não é recomendável o cruzamento de cordões de soldadura².

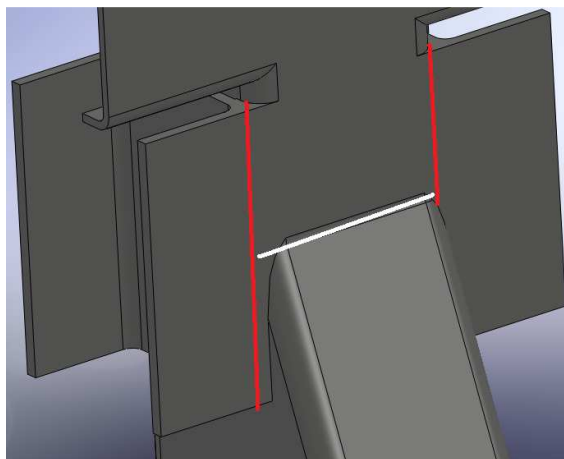


Figura 30 - Localização dos cordões cruzados da Solução 2

b) Sobreposição de cordões de soldadura

É boa prática evitar-se sobreposições de cordões de soldadura (figura 31), uma vez que os sucessivos ciclos de aquecimento – arrefecimento, devidos às várias passagens de soldadura, originam um aumento dos grãos na fronteira do local de soldadura o que, por conseguinte, fragiliza o local.

² A ref. [7], REAE edição 1986, indica como boa prática que “*salvo casos especiais devidamente justificados, não são de admitir cruzamentos de cordões de soldadura*” (art. 37º). Ainda que relativa a outro tipo de estruturas, entende-se que esta recomendação é de aplicação genérica em construção soldada.

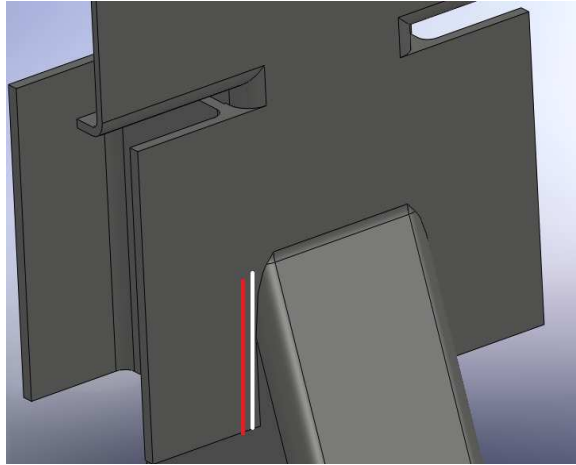


Figura 31 - Localização da sobreposição dos cordões de soldadura

c) Peça com material excessivo – não otimizada

Um perfil do tipo U oferece resistência nas suas duas abas. Neste caso só interessa aliviar o nível de tensões no local já anteriormente referido. Desta forma se conclui que existe material em excesso que não é aproveitado a 100%. Isto originaria “desperdício” de material, encarecendo a solução desnecessariamente, quer em termos de matéria-prima quer do tempo de execução (mão-de-obra).

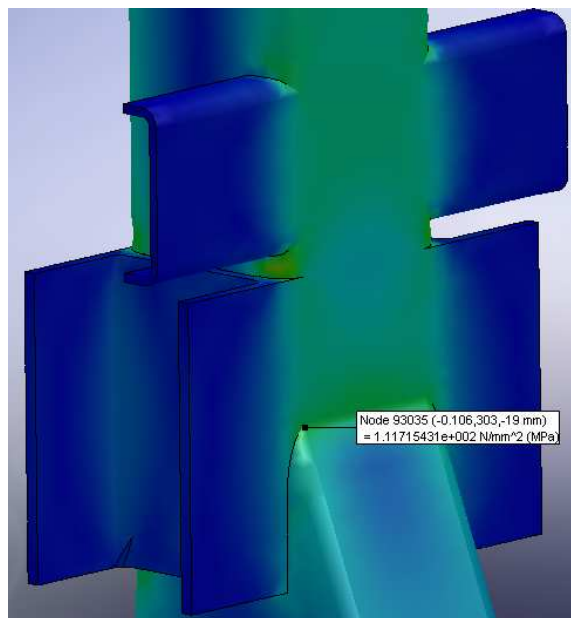


Figura 32 - Valor registado da tensão após a aplicação da Solução2

Embora uma redução de tensões teórica, na ordem dos 66%, possa parecer razoável, pelos motivos já enunciados, a solução poderá não ser a mais conveniente (figura 32).

3.5. Solução 3 – Adição de uma chapa

Embora a substituição do perfil U, por uma chapa colocada junto da zona a aliviar as tensões, resolva a questão do material em excesso, continua a padecer da problemática da sobreposição de soldaduras como se pode observar na figura 33 (a definição geométrica da chapa pode ser consultada na figura 34).

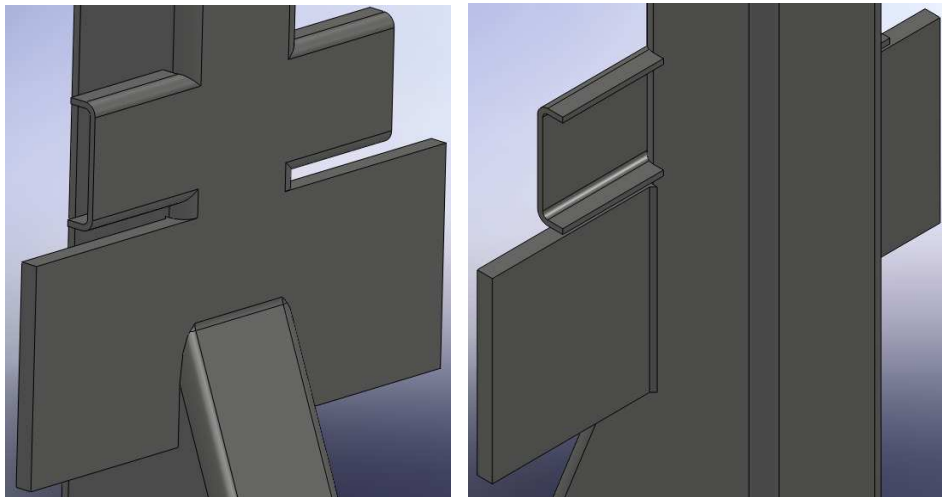


Figura 33 - Representação da solução 3

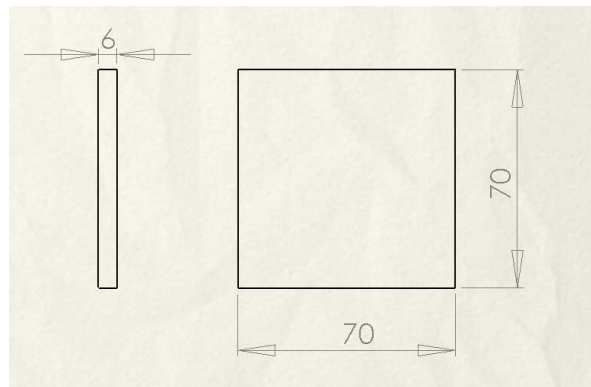


Figura 34 - Dimensões iniciais da chapa proposta

No entanto, pode ser possível contornar a questão referida através do posicionamento da chapa. Já se sabe, que quanto mais próxima estiver da zona crítica, melhores resultados serão esperados uma vez que se melhora o momento de inércia localmente. No entanto, afastando a chapa dessa zona evitar-se-ia a sobreposição dos cordões de soldadura.

Surgiu assim a ideia de estudar a influência que o posicionamento da chapa relativamente à face do pilar tem na redução das tensões pretendidas (figuras 35 e 36). Se com um afastamento razoável à face do pilar, for possível reduzir consideravelmente os valores dessas mesmas tensões, resolver-se-ia todas as questões da soldadura referidas anteriormente.

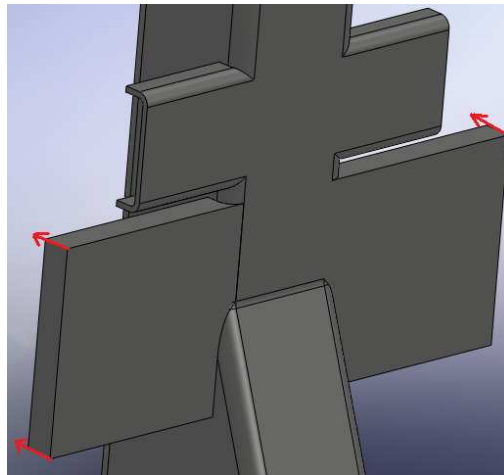


Figura 35 - Direcção do reposicionamento das chapas

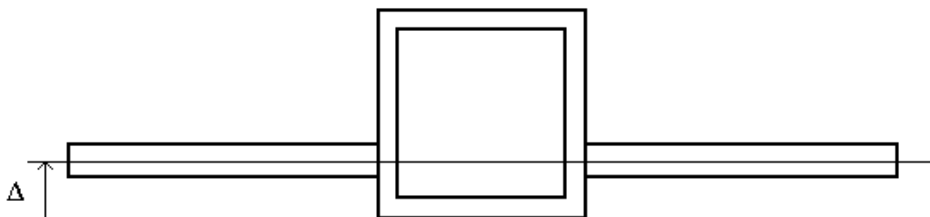


Figura 36 - Esquema representativo, em que Δ representa o valor numérico do afastamento da chapa à face do pilar

Uma questão importante a referir é o modo de como é efectuada a soldadura da chapa dependendo do posicionamento da mesma. No caso de a chapa estar à face do pilar, o soldador pode aproveitar a curvatura da secção do pilar para aí executar uma soldadura com boa penetração (figura37) , contudo caso se chegue à conclusão que a chapa deva ficar mais próxima do eixo neutro, ter-se-á que se optar por uma soldadura de canto (figura 38 e 39).

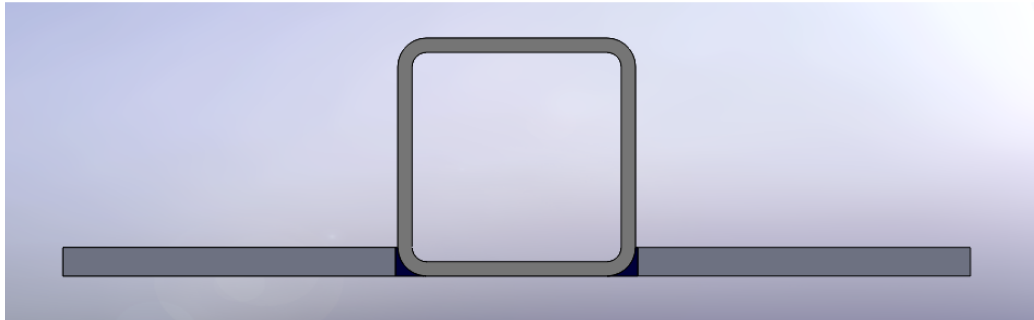


Figura 37 - Soldadura da chapa à face do pilar

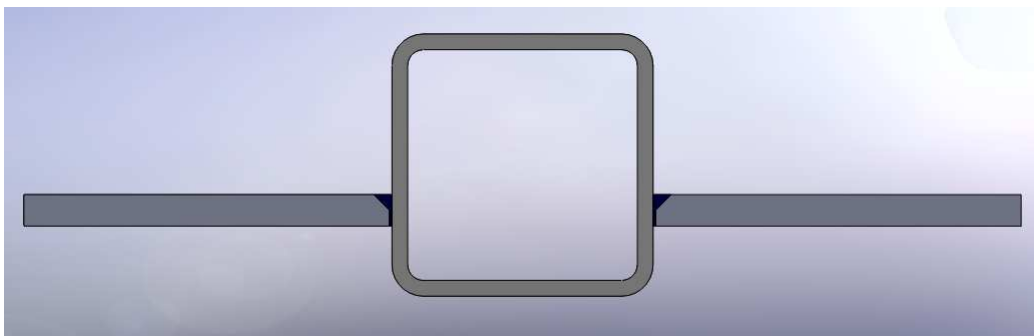


Figura 38 - Soldadura da chapa afastada da face do pilar

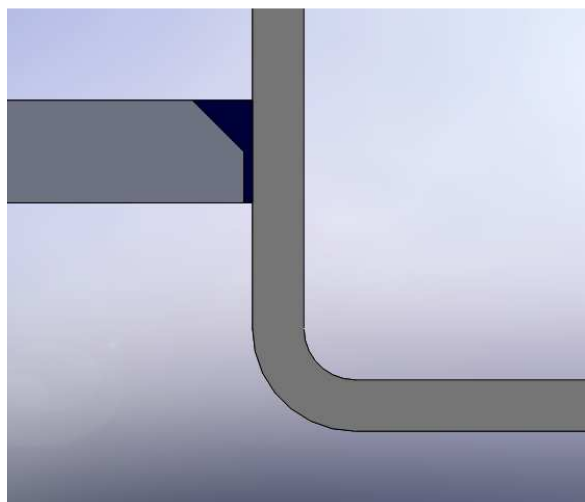


Figura 39 - Pormenor do chanfro na placa para melhorar a penetração da soldadura

Antes da apresentação do estudo do posicionamento (Δ) da chapa, serão explicadas as medidas escolhidas inicialmente para as peças (70x70x6) e caso necessário alguma alteração das mesmas após alguma constatação posterior:

- Espessura: Por questões de facilidade de operação, a chapa deve ter uma espessura razoável. Por exemplo, se se pretender soldar a chapa à face, era conveniente que a chapa tivesse uma espessura de valor igual ao raio de curvatura do perfil utilizado como pilar (6mm), desta forma o soldador poderia aproveitar essa mesma curvatura para efectuar uma soldadura com boa penetração, como indicado nas figuras 40 e 41.

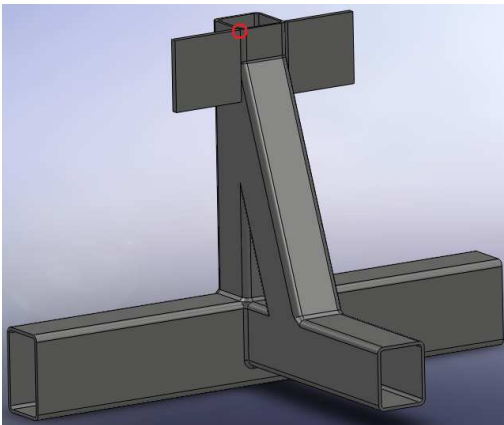


Figura 40 - Peça em corte- Localização do zoom

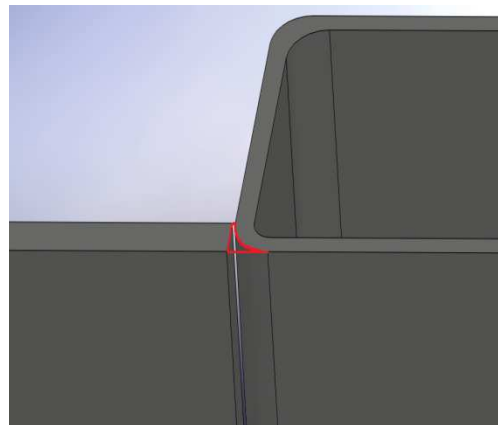


Figura 41 - Local de aplicação da soldadura

- Altura: A altura da chapa terá como limitação o perfil U utilizado com suporte dos bancos de passageiros por questões óbvias.
- Comprimento: Após uma visualização da distribuição das tensões numa chapa de dimensão 70x70x6, verificou-se que as tensões só se faziam notar nas proximidades do local de soldadura, pelo que não era vantajoso ter placas de comprimento considerável (figura 42).

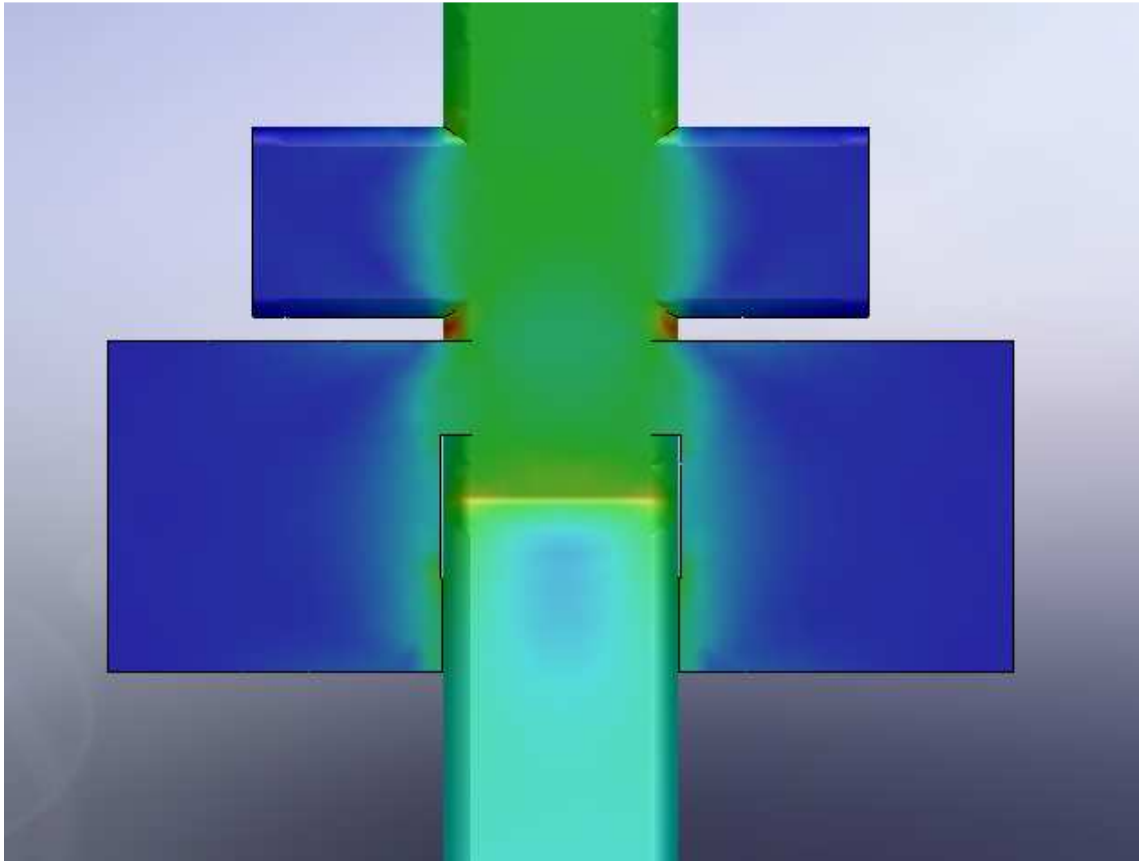


Figura 42 - Distribuição das tensões nas chapas

As áreas de cor azul-escuro estão praticamente relaxadas (figura 42), só se fazendo notar tensões em zonas próximas do cordão de soldadura, pelo que se reduziu o comprimento de 70mm para 40mm (figura 43). A questão da redução do peso, não deve de forma alguma ser descurada, pelo que as soluções propostas para além de funcionais, devem ser sempre que possível optimizadas.

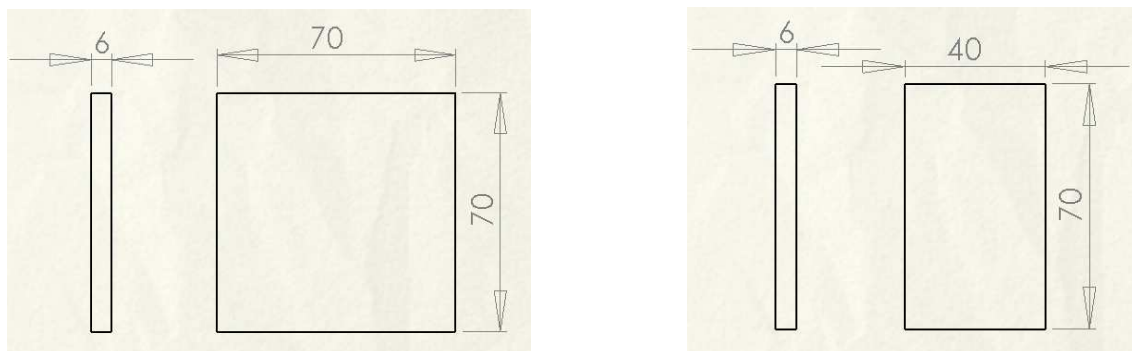


Figura 43 - Comparação entre as dimensões da chapa antes e depois das alterações propostas

Depois de definidas as questões geométricas, estão reunidas as condições necessárias para estudar o melhor posicionamento da placa, tendo em vista a questão da sobreposição ou mesmo proximidade dos cordões de soldadura existentes com os necessários para fixar as placas, mas mantendo no entanto um bom nível de redução de tensões.

Desta forma serão apresentados os valores da tensão na tabela 1, com a respectiva redução percentual face, às tensões verificadas na ligação actualmente utilizadas, em função do afastamento à face do pilar (Δ):

Tabela 1

$\Delta(\text{mm})$	Tensão Verificada(MPa)	Redução de tensão(%)
0	121	30
3	143	17
6	148	14
9	157	9

Como esperado, a situação de a placa estar à face do pilar ($\Delta=0$) é a mais interessante sob o ponto de vista de redução de tensões, em todo o caso ainda incorre de todas as questões anteriormente levantadas. Uma redução de 17% no nível de tensões ($\Delta=3\text{mm}$), não é uma diminuição confortável neste tipo de cálculos, pois devemos ter sempre em consideração factores que o projectista não domina, tais com erros derivados de aproximações feitas pelo software de cálculo, pequenos erros de modelação, etc. . Por outro lado, comparando um caso em que existem sobreposição de soldaduras (afastamento nulo) com o caso de termos cordões de soldadura paralelos e muito próximos (afastamento superior ou igual a 3mm), o primeiro será porventura menos desfavorável.

Uma vez que ainda não foi chegada a uma solução livre de contrapartidas, é necessário a continuação da investigação nesse sentido.

3.6. Solução 5 – Melhoria da Solução 4

Uma das questões problemáticas da Solução 4 era o cruzamento de cordões de soldadura. Isto é de possível resolução efectuando um intervalo no cordão de soldadura (figura44). Resta no entanto verificar se não surgem concentrações de tensões elevadas provenientes da diminuição do mesmo.

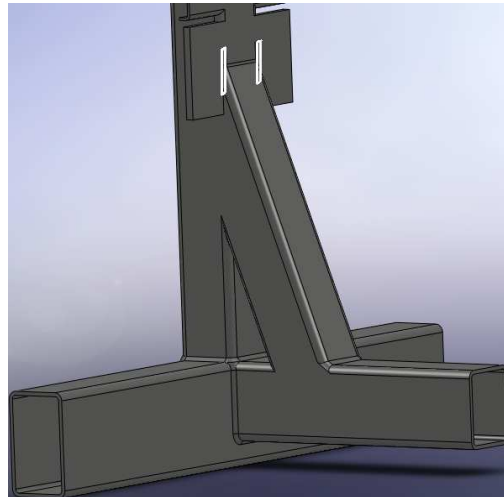


Figura 44 - Representação da solução 2

Para validar esta solução é necessário uma vez mais observar a distribuição de tensões:

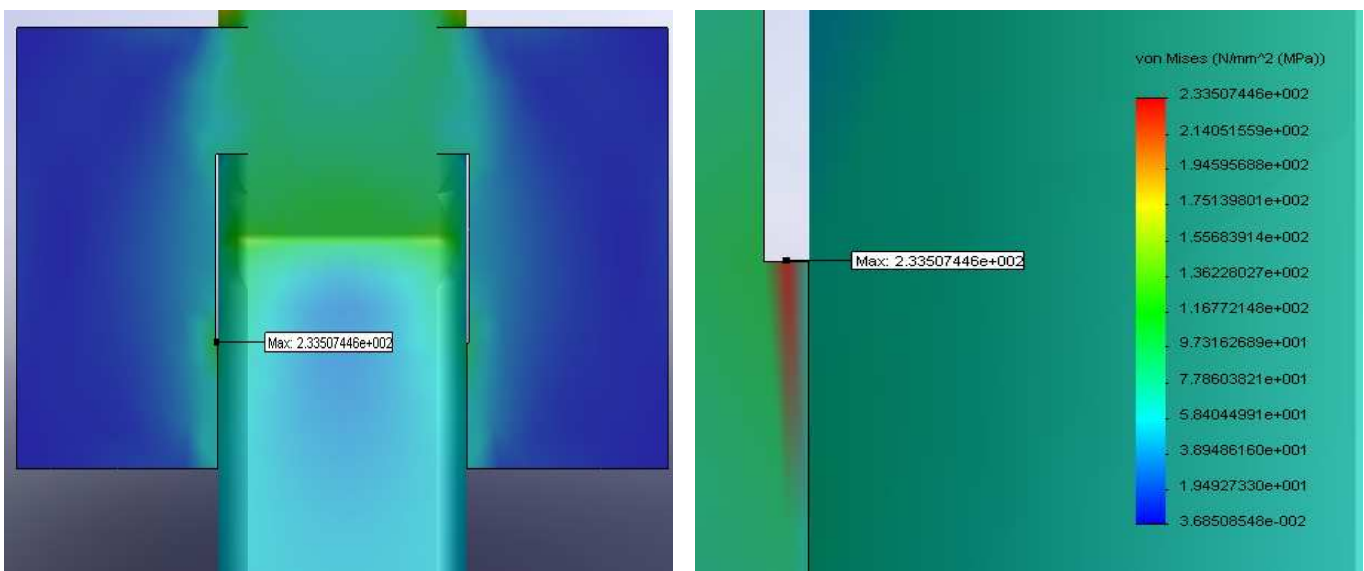


Figura 45 - Distribuição de tensões da solução5 – Indicação da tensão máxima

Tal como previsto, a resolução de um problema originou outro. Criou-se um ponto de tensão relativamente elevado pelo facto de se ter diminuído o cordão de soldadura (figura 45). A solução para resolver esta questão pode passar por diminuir a resistência da chapa. Desta forma torna-se necessário proceder a essas alterações o que implica o estudo de outra solução.

3.7. Solução 6 – Solução Final

A Solução 6 (figura 46) foi o culminar da tentativa de resolução de todas as questões expostas. Não se trata de uma solução perfeita, no entanto pode considerar-se que é uma evolução relativamente à situação inicial, bem como resolve a maioria das questões patentes nas soluções precedentes.

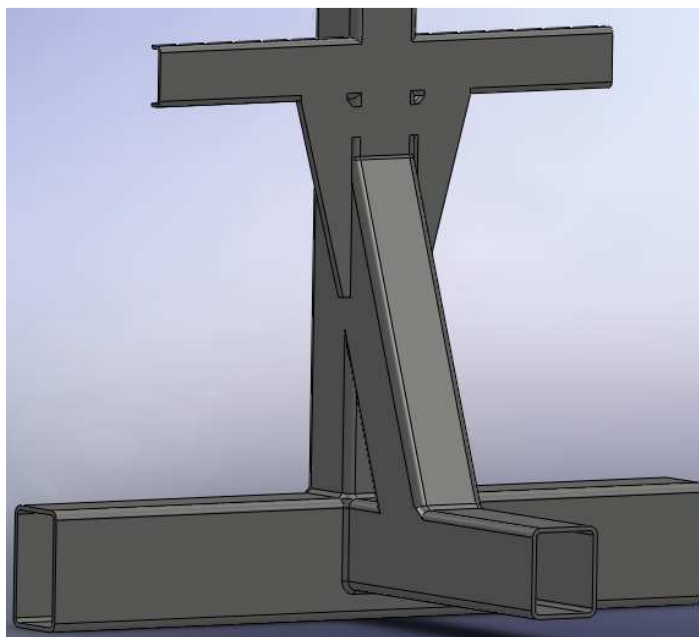


Figura 46- Representação da solução 6

3.7.1. Características de relevo da solução 6

Como é possível observar através das dimensões da peça utilizada nesta solução, houve a preocupação de diminuir a resistência da peça definida na solução 6. Pretendia-se com isto, diminuir o nível de tensões verificado na interrupção do cordão de soldadura, uma vez que diminuindo a resistência mecânica da peça, menor seria o esforço a que a zona de soldadura interrompida estaria sujeita.

A redução de secção transversal ao esforço desta peça possui um gradiente, isto é, no topo a secção tem 35x5 diminuindo gradualmente até chegar a 5x5 na base (figura 48). Desta forma sem diminuir drasticamente a resistência da peça foi possível de certa forma “diminuir localmente” a resistência da peça, numa zona em que era necessário transmitir menos esforços à soldadura, por ter um valor localizado de tensão particularmente elevado.

Outra forma encontrada para resolver a questão indicada anteriormente, foi aumentar a altura da peça porque implicaria aumentar a zona de soldadura, distribuindo desta forma melhor as tensões, pelo que a altura da peça passou de 70mm para 125mm.

Na representação da peça da solução 6, pode observar-se que esta está soldada ao perfil U. Não sendo uma soldadura que melhore a ligação Pilar-Estrado, é um modo de fortificar a ligação deste perfil ao pilar, constituindo um meio adicional de “rentabilizar” ainda mais esta peça. Repare-se ainda que houve também a preocupação de não se efectuar soldaduras cruzadas, justificando-se desta forma o pequeno chanfro de 4mm presente nesta peça (figura 47).

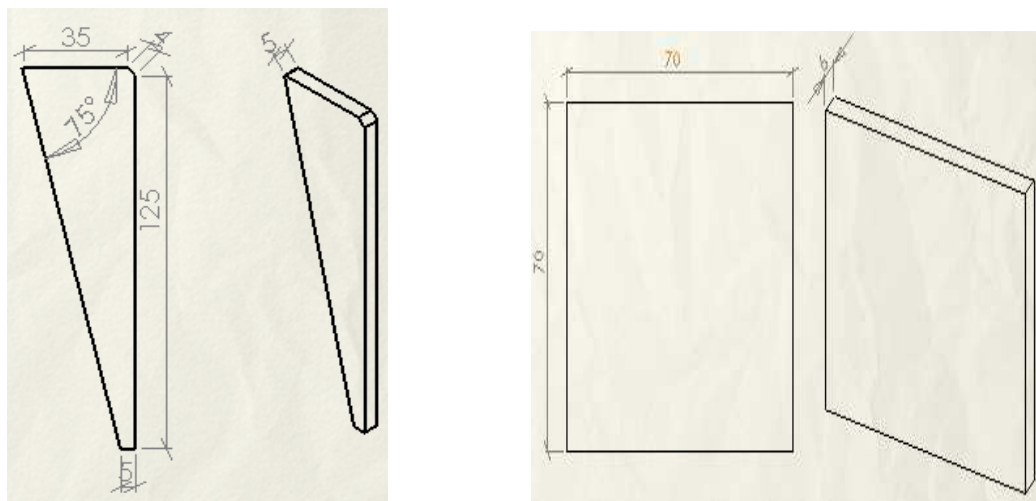


Figura 47 - Dimensões: Solução6 (esq) vs. Solução5 (dir)

Embora tenham sido assinaladas as zonas a soldar, é no entanto necessário fornecer indicações sobre a ordem e dimensões dos cordões de soldadura a efectuar:

3.7.2. Sequência de soldadura

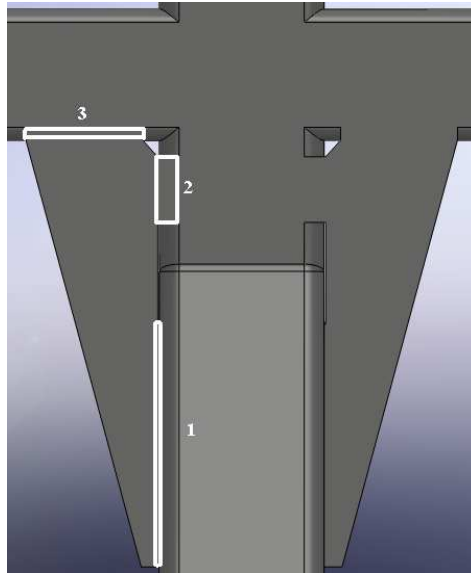


Figura 48 - Locais a efectuar soldadura

A primeira soldadura a efectuar deve ser a assinalada pelo número 1 (figura 48). Como se trata da maior área a soldar é previsível que ocorram as maiores deformações da peças. No caso de se efectuar em primeiro lugar a soldadura número 2, ao realizar a número 1 posteriormente, colocaria a número 2 sob valores de tensões residuais indesejavelmente elevados.

O último cordão de soldadura a efectuar deve ser o da ligação entre a chapa e o perfil U (número 3), para evitar deformar o perfil U, com as contracções da peça inerentes à restantes soldaduras.

Outras indicações

- A peça deve estar de preferência faceada com o pilar para assim se obter o maior rendimento possível.
- Nas soldaduras número 1 e número 2, deve-se fazer uso da curvatura dos perfis com os quais a peça se liga, para se efectuar soldaduras com boa penetração
- A soldadura 1 deve ser efectuada do lado visível na imagem, para evitar o paralelismo de cordões, que tal como referido será porventura mais desfavorável do que a sobreposição de soldadura.

3.8. Resultados e considerações finais da Solução 6

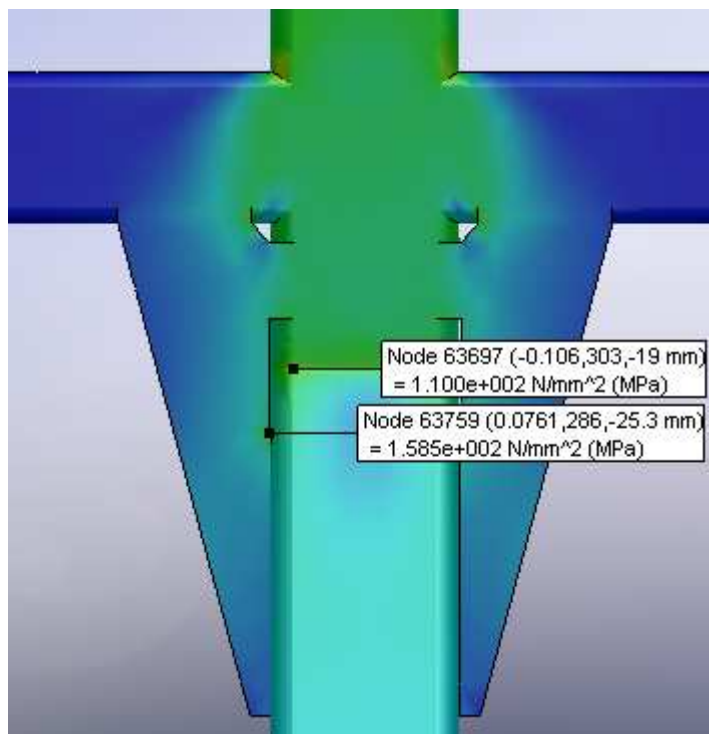


Figura 49 - Indicação de valores da tensão em locais pertinentes

Como pode ser observável na figura 49, reduziu-se de forma substancial os níveis de tensão presentes na ligação entre a diagonal e o pilar (cerca de 30%), quando neste actua uma força (abertura/fecho), inclusivamente alcançando uma redução superior à Solução5 mesmo com a redução de algumas dimensões na chapa de reforço.

Embora tenha sido anteriormente referido que a sobreposição de cordões de soldadura era uma situação a evitar, comparativamente a outras alternativas era a que apresentava menos inconvenientes.

4. Ligação Pilar – Arco do tejadilho

O aspecto problemático desta ligação, prende-se com o facto de o sucesso desta ligação depender de uma forma demasiadamente comprometedora, da “arte” do operário. Para que as soldaduras sejam eficientes, é necessário que todas as peças intervenientes nesta ligação tenham um posicionamento perfeito entre elas, o que nem sempre é fácil, ou mesmo possível, como mais adiante será explicado.

A ligação entre o pilar e o arco do tejadilho é feita através de uma chapa de interposição, tal como mostra a figura 50 (elemento 2). Para uma melhor compreensão das dimensões dos componentes observe-se a figura 52 - arco do tejadilho, figura 53 – perfil constituinte do arco do tejadilho e finalmente a figura 54 – pilar.

Na figura 55, estão representados os locais de soldadura que directamente intervêm no objecto de estudo.

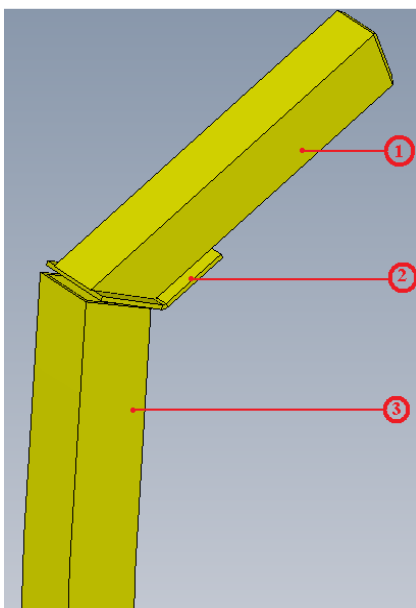


Figura 50 - 1) Pilar; 2) chapa de interposição; 3) Perfil constituinte do arco do tejadilho

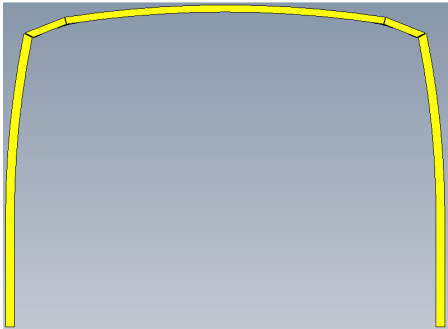


Figura 51 - Pórtico de rigidez transversal: Conjunto completo Pilar+Arco tejadilho

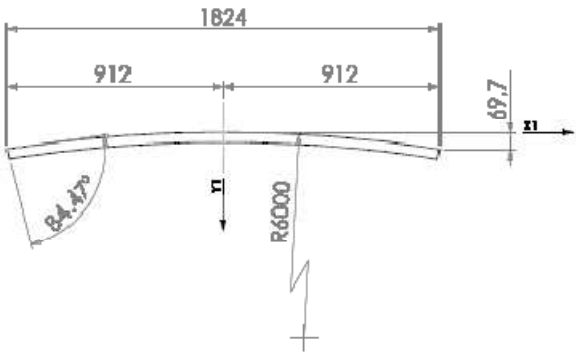


Figura 52 - Arco do tejadilho

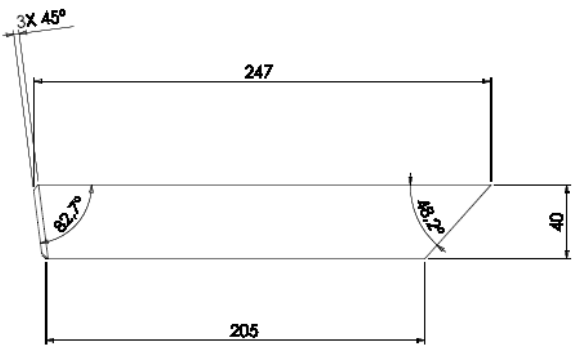


Figura 53 - Perfil constituinte do arco do tejadilho

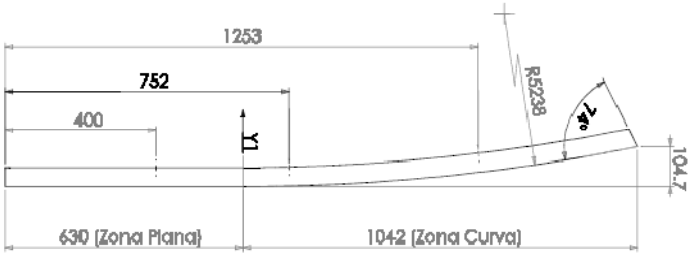


Figura 54 - Pilar

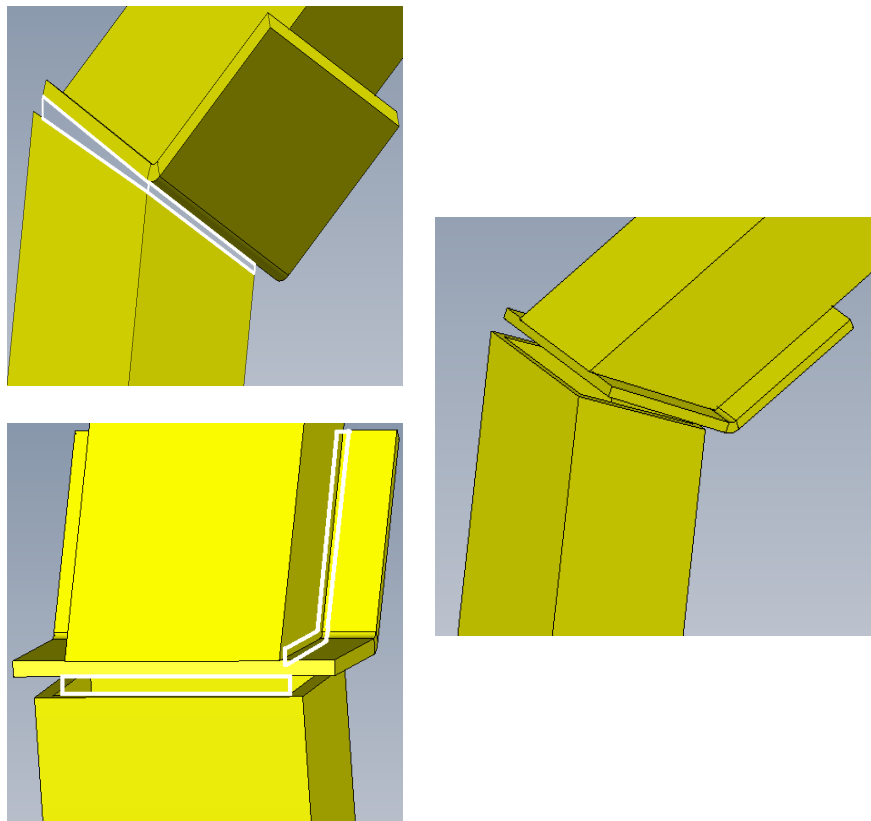


Figura 55 - As zonas assinaladas possuem cordão de soldadura

Existe uma soldadura tem um cariz problemático em particular, que é a assinalada na figura 56,

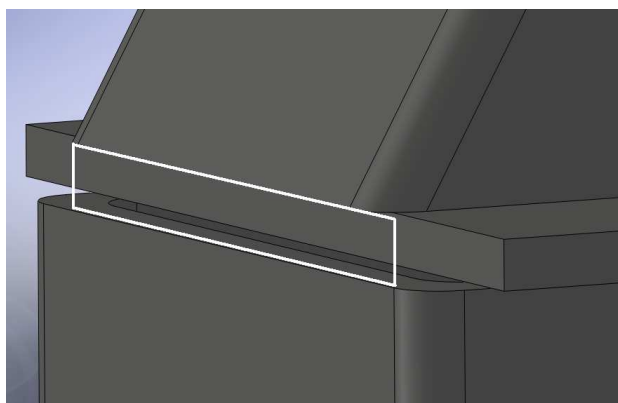


Figura 56 - Pormenor do local da soldadura problemática

4.1. Factores negativos inerentes à solução actual

- Posicionamento do tejadilho relativamente ao pilar:

Nas representações mostradas da ligação, o perfil constituinte do arco encontra-se numa posição ideal permitindo que o cordão de soldadura assente precisamente na espessura do perfil do pilar. No entanto a realidade é bastante diferente. Não são raras as ocasiões em que aquando da montagem, o arco fica muito recuado (no sentido do interior do autocarro) ou avançado (no sentido do exterior do autocarro). Isto ocorre devido por um lado à dificuldade de se dobrar perfis com um rigor isento de falhas, mas principalmente pelas alterações geométricas originadas pelas soldaduras de ligação inerentes ao processo construtivo do arco, uma vez que este é constituído por 3 perfis necessitando ainda 2 abas cada uma fortalecendo a ligação entre os perfis (figura 57).

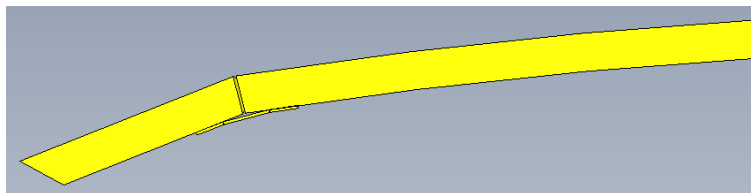


Figura 57 - Pormenor da curvatura do arco, e da aba de ligação entre perfis

Este facto pode originar duas situações distintas e prejudiciais:

- Arco recuado: Neste caso torna-se impossível efectuar convenientemente a solda, pois se o arco recua também a aba recuará implicando que o material de adição não tenha base de sustentação (figura 58).

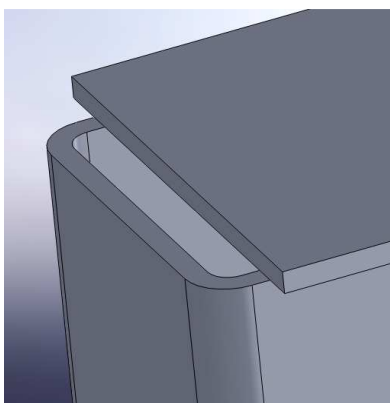


Figura 58 - Exemplo de um caso em que a aba ficou muito recuada

- Arco avançado: Neste caso torna-se complicado efectuar a solda aos 3 componentes por não existir um entalhe, ou um local onde se possa colocar o material de adição.
- Soldadura de 3 peças em simultâneo: Na zona evidenciada como problemática (figuras 59 e 60), a solda envolve a ligação entre 3 peças em simultâneo. O soldador aplica o material de adição directamente sobre a face da aba, não conseguindo um enchimento total como se pode observar no grupo de figuras 60.

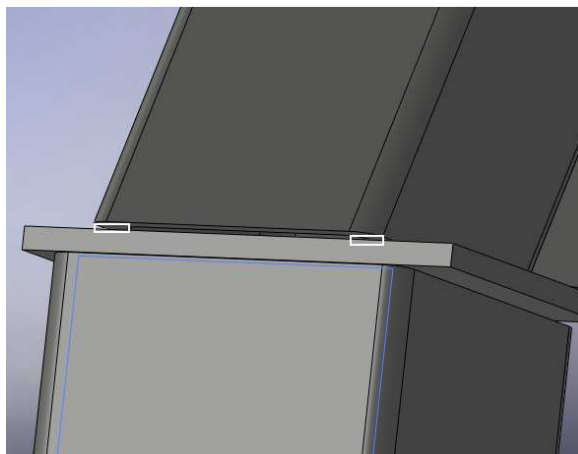


Figura 59 - Locais onde se prevê defeitos de soldadura

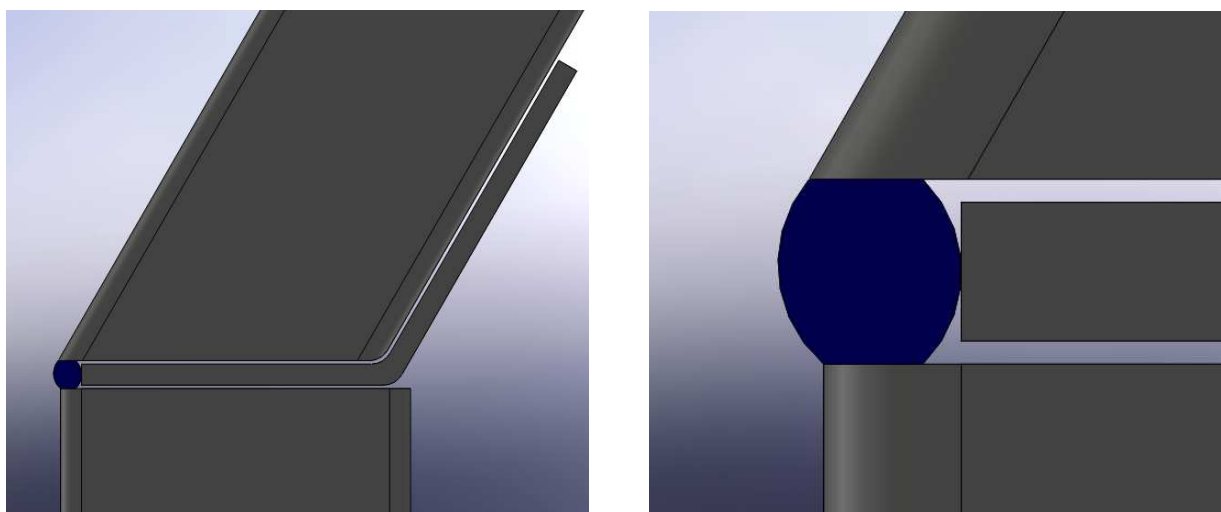


Figura 60 - Pormenor do defeito de soldadura referido

4.2. Solução 1 – Substituição da aba por uma chapa

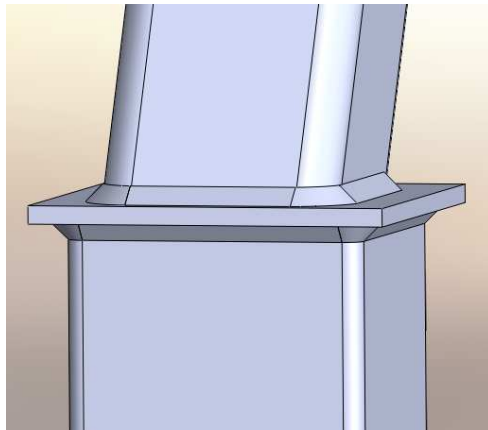


Figura 61 - Representação da Solução1

A solução 1 preconiza a utilização de uma chapa de dimensões consideráveis (60x60x3, ver figura 61). Resolve assim algumas situações a enunciar:

- Posicionamento geométrico do arco do tejadilho relativamente ao pilar:

Com uma chapa destas dimensões, mesmo que exista um desalinhamento proeminente entre estes dois perfis, é possível efectuar uma solda correctamente, executando uma solda em torno do perímetro de cada perfil à chapa.

- Solda de apenas 2 peças em simultâneo

Por razões óbvias, esta solução só exige a ligação entre duas peças em simultâneo.

Daqui se concluiria que a esta chapa seria o substituto perfeito, depois claro está, de se testar em elementos finitos como também com um protótipo real.

No entanto existe uma particularidade que não foi tomada em consideração, fruto do não conhecimento da envolvente da zona de estudo. Existe um espaço de apenas 3mm, entre a face exterior do pilar e o revestimento exterior do autocarro pelo que é de evitar soluções que produzam saliências.

4.3. Solução 2 – Peça vazada

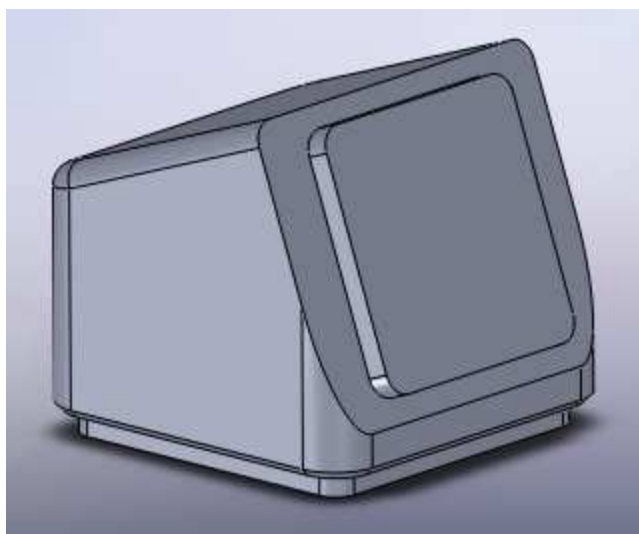


Figura 62 - Ilustração da peça sugerida na solução 2

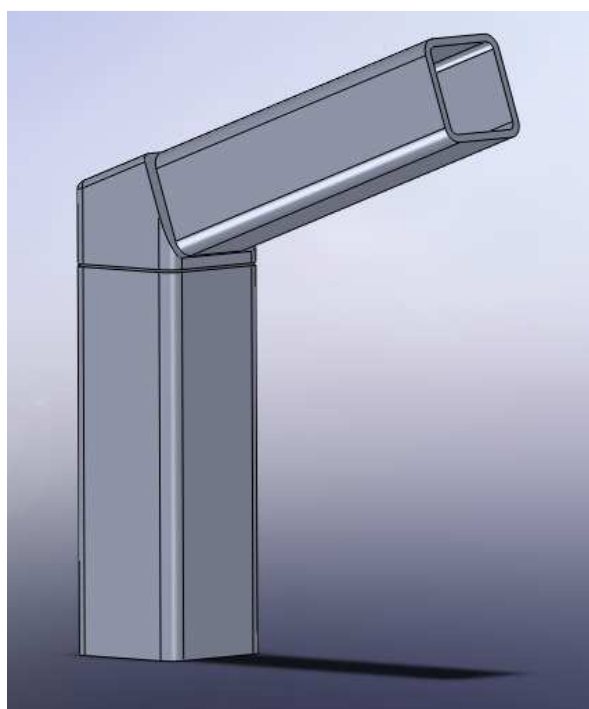


Figura 63 - Ligação completa da solução 2

Uma peça deste género teria que ser efectuada pelo método de fundição devido à sua complexidade geométrica (figuras 62 e 63). Contudo constituiria uma forma de ligação sem os defeitos de soldadura inerentes à solução1, pois esta peça já viria especialmente adaptada a ligar com cada um dos perfis, aplicando a solda na periferia de das ligações.

Lamentavelmente a solução 2 possui dois grandes inconvenientes:

- Preço: O preço provável para um molde desta peça seria elevado, e com uma taxa de produção relativamente baixa de autocarros (quando comparada com a indústria automóvel), o molde não seria rentabilizado facilmente.
- Exigência de alinhamento entre o pilar e o arco do tejadilho: Uma vez mais esta peça peca por este tipo de exigência, sendo ainda mais crítica esta questão nesta solução do que a que existe actualmente. Ao passo que na solução adoptada correntemente, mesmo que haja algum desvio dentro de alguma tolerância, é sempre possível efectuar a soldadura com alguma eficiência, na solução 2 é necessário imperativamente que os dois perfis tenham um alinhamento fixo.

4.4. Solução 3 – Versão melhorada da Aba

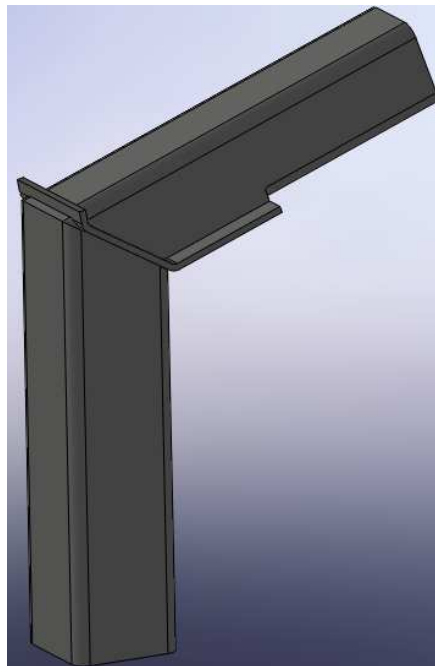


Figura 64 - Representação da solução3

A solução 3 (figura 64) baseia-se na peça utilizada actualmente melhorando embora nesta versão estejam resolvidas algumas questões levantadas inicialmente.

- Posicionamento do arco relativamente ao pilar

Com um simples acrescento do comprimento da aba tal como representado na imagem seguinte, independentemente do alinhamento dos dois perfis implícitos, há agora uma maior probabilidade de se efectuar um enchimento de material suficiente para garantir uma boa soldadura.

- Soldadura de 3 peças em simultâneo

Como se pode constatar (figura 65), com esta configuração geométrica por parte da aba, a soldadura é só efectuada entre duas peças, o que evita uma vez mais, falhas de soldadura.

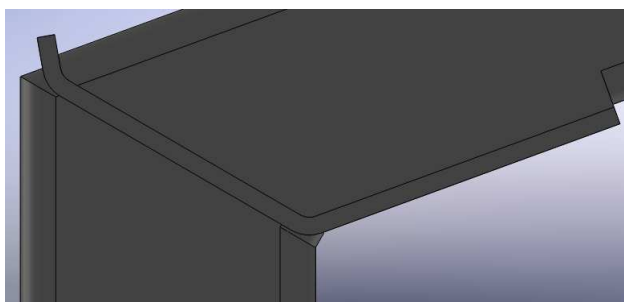


Figura 65 - Pormenor da geometria da nova aba

4.5. Considerações de cariz económico

Para se fazer uma análise económica de uma alteração deste nível, é necessário ter acesso a dados de custo da matéria-prima e mão-de-obra. Como os componentes não são fabricados directamente pela CaetanoBus, a obtenção destes dados nem sempre é fácil, pelo que esta análise não foi feita em todas as alterações propostas. Sendo compreensível este tipo de auto-proteccionismo por parte das empresas, foi louvável a atitude da CaetanoComponents que de forma tão prestável, através do Eng. Eurico Coelho forneceu todos os dados necessários para efectuar um orçamento da nova solução.

É de facto importante que as alterações efectuadas sejam economicamente viáveis, pois por muito funcionais que sejam as soluções se implicarem um investimento adicional considerável não poderão ser aplicáveis. No final será apresentado, a diferença de preço que esta alteração implicará num arco completo do tejadilho, face ao actualmente existente.

Esta nova solução implicará não só alterações na aba mas também necessitarão de um corte adicional no perfil constituinte do arco do tejadilho que entra em contacto directamente com a aba. Desta forma será apresentada uma descrição das operações de fabrico implícitas assim como uma descrição financeira das implicações destas alterações.

4.5.1. Alterações no arco do tejadilho

Perfil actualmente Utilizado



Novo perfil

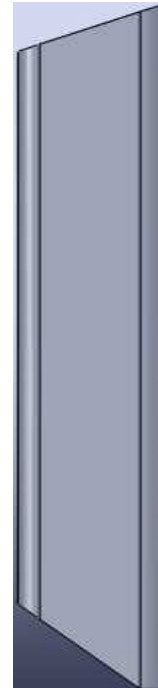
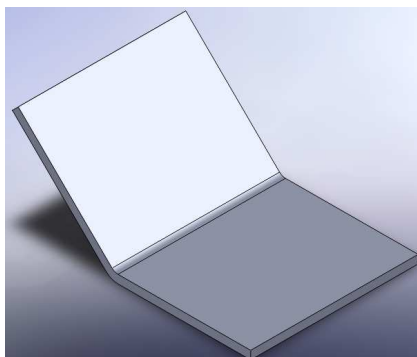


Figura 66 - Comparação entre o perfil utilizado actualmente (lado esquerdo), com o recomendado (lado direito)

Este novo perfil exige mais um corte pelo que o seu preço e tempo de fabrico serão mais elevados (ver figura 66). Estima-se que o tempo de corte total para o primeiro perfil seja de 1,5 minutos, ao passo que o segundo é 2,5 min. Não há diferenças relativamente à quantidade de tubo requerido, pelo que é necessário um comprimento em bruto de 280 mm dos quais só se aproveitam 270mm devido aos 5mm de espessura do disco da fresa. O custo da matéria-prima deste tipo de perfil é de 2,01€/m pelo que para 280mm o custo associado é de 0,57€.

4.5.2. Alterações na aba

Perfil actualmente utilizado



Novo perfil

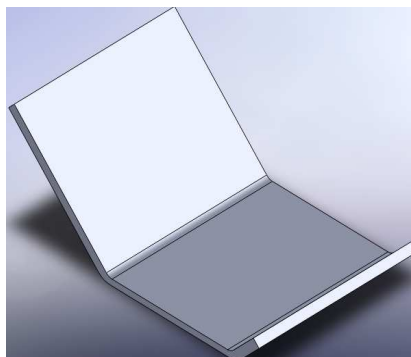


Figura 67 - Aba actualmente utilizada (lado esquerdo), aba recomendada para a nova solução (lado direito)

A primeira versão da peça tem 98x60 e a nova terá 110x60 (ver figura 67). Considerando que é necessário recortar um rectângulo a partir da chapa (matéria prima) de dimensões superiores em 2% (cerca de 10 mm de afastamento, de modo a evitar bordos queimados pela passagem do laser) às dimensões pretendidas, e que segundo dados fornecidos esse mesmo rectângulo tem uma massa de 0,155kg no primeiro caso e 0,171kg no segundo e sabendo também que o custo deste material é de 0,65€/kg, a primeira versão tem um custo de 0,10€ ao passo que a segunda custa 0,11€.

4.5.3. Contabilização do tempo de fabrico do arco do tejadilho

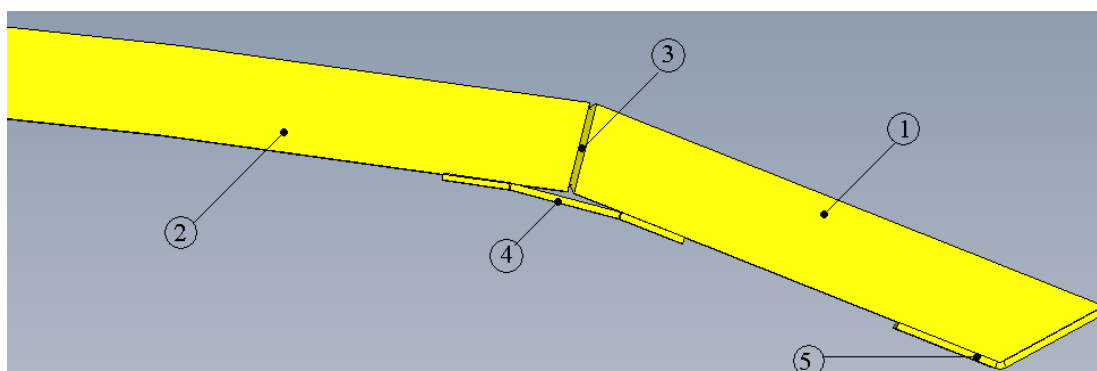


Figura 68 - Esquema representativo dos componentes integrantes do arco do tejadilho

São necessários 3 tipos de distintos de operação necessários ao fabrico completo do arco do tejadilho, que são o corte, a quinagem e a dobragem. Desta forma serão enunciados os tipos de operação correspondentes aos números que por sua vez indicam componentes distintos constituintes do arco de tejadilho (figura 68):

Corte

- 1) Perfil de secção rectangular: 1,5 minutos x 2 (duas peças)
- 2) Perfil de secção rectangular: 2 mins
- 3) Local de soldadura: Efectuar a penetração de bordos em ambos os tubos no ponto de ligação para se soldar topo a topo - 1 min + 15 secs x 4 (dois cortes no perfil 2, mais um corte por cada perfil 1)
- 4) Aba de suporte à ligação entre os perfis do arco: 30 x 2 segundos (duas peças)
- 5) Aba de ligação entre o pilar e o arco do tejadilho: 30 x 2 segundos (duas peças)

Quinagem

- 4) Aba de suporte à ligação entre os perfis do arco: Esta peça terá duas quinagens e o tempo de operação é de 0,165 mins/quinagem pelo que o tempo total desta operação é de 0.33 x 2 minutos (duas peças)
- 5) Aba de ligação entre o pilar e o arco do tejadilho: A nova peça terá mais uma quinagem por isso o tempo passa de 0,165 mins para 0.33 x 2 mins (duas peças).

Dobragem

- 2) Perfil de secção rectangular: para se efectuar a dobragem deste perfil são necessários 10 mins

4.5.4. Tipo de custos envolvidos no fabrico

No processo de fabrico do arco de tejadilho, estão envolvidos os seguintes processos acrescidos do respectivo preço de execução:

- Custo horário da máquina laser: 47,44 €/hora
- Mão-de-obra: 6,09€/hora
- Quinadora: 6,20€/hora + 32,55€/hora (amortização da máquinas)
- Soldar/Curvar/Corte: 6,04€/hora + 7,62€/hora (desperdício de material, amortização do equipamento etc.)

Uma vez na posse de todos os dados necessários à orçamentação da solução, são apresentados quadros comparativos entre os custos do fabrico do arco do tejadilho actualmente fabricado, e a nova solução preconizada (<ver tabelas 2, 3, 4 e 5):

Tabela 2 Custo de aquisição da matéria-prima

Elemento	Antes (€)	Depois (€)
5	0,20	0,22
2	4,04	4,04
4	0,57	0,57
Total	4,81	4,83

Tabela 3 Custo de fabrico/Custo operacional

Elemento	Operação	Antes		Depois	
		Tempo(h)	Custo(€)	Tempo(h)	Custo(€)
1	Corte	0,05	0,99	0,08	1,65
2	Dobragem	0,17	3,29	0,17	3,29
	Corte	0,03	0,66	0,03	0,66
3	Corte	0,02	0,33	0,02	0,33
4	Corte	0,02	0,33	0,02	0,33
	Quinagem	0,01	0,49	0,01	0,49
	Lazer	0,02	0,89	0,02	0,89
5	Corte	0,02	0,33	0,02	0,33
	Quinagem	0,01	0,25	0,01	0,49
	Lazer	0,02	0,89	0,02	0,89
Total(€)		8,45		9,35	

Tabela 4 Custo de soldaduras gerais

Operação	Antes		Depois	
	Tempo(h)	Custo(€)	Tempo(h)	Custo(€)
Soldar	0,28	5,6	0,3	5,93

Tabela 5 Contabilização e comparação do somatório de custos

	Antes(€)	Depois(€)	Diferença Bruta(€)	Diferença Percentual(%)
Total final	18,86	20,11	1,25	+6,24

4.6. Conclusão

Tendo em conta as vantagens apresentadas relativamente à melhoria das condições para se efectuar uma soldadura de melhor qualidade, e sabendo que se trata de uma melhoria no âmbito da promoção da segurança dos passageiros, a diferença de 1,25€ é justificável.

5. Estudo da ligação entre pilares

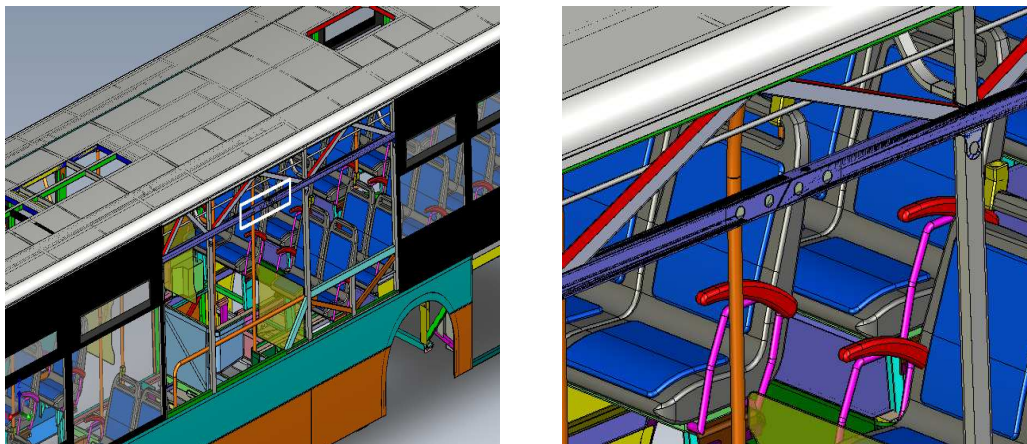


Figura 69 - Ilustração da ligação em estudo

5.1. Breve descrição e motivação do estudo da ligação

Trata-se de um reforço de uma ligação entre dois perfis colineares entre si e longitudinais ao autocarro (ver figura 69). A ligação é usada em resultado dos perfis serem vendidos com um comprimento máximo de 6m, porque de outra forma um simples perfil que percorresse o autocarro era suficientemente resistente.

Embora não estejam documentadas na empresa as razões para se efectuar este tipo de reforço, supõe-se que o projectista viu a necessidade de reforçar uma ligação que de outra forma seria efectuada por uma simples soldadura topo-a-topo.

É precisamente na perspectiva de analisar se a complexidade desta solução compensa as eventuais melhorias da resistência da ligação, que este estudo surgiu.

5.2. Descrição detalhada da ligação

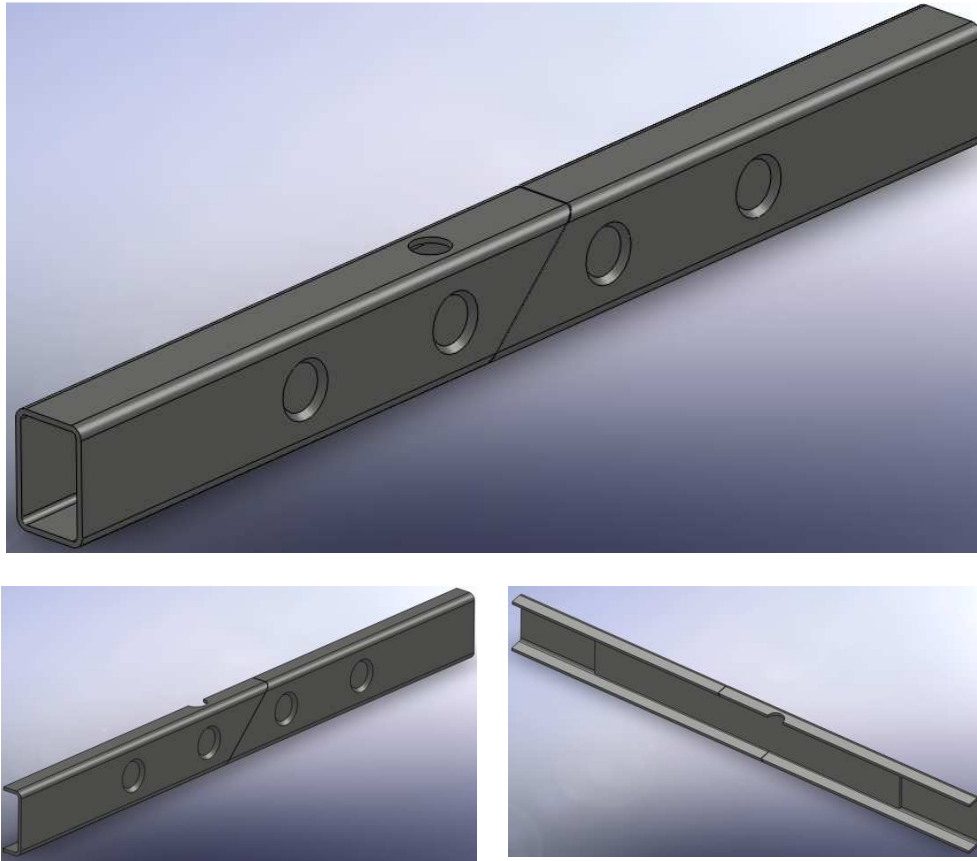


Figura 70 - Detalhe da ligação

O cerne desta ligação está na utilização de duas chapas (ver figura 72) que são introduzidas no interior dos perfis, e que são posteriormente soldadas aos mesmos através de 8 furos nos quais são depositados cordões de canto (4 de cada lado), como se observa na figura 70. O furo visível do topo permite ao operador introduzir o dedo segurando desta forma a chapa a soldar. O corte dos perfis é feito obliquamente como observável em pormenor na figura 71.

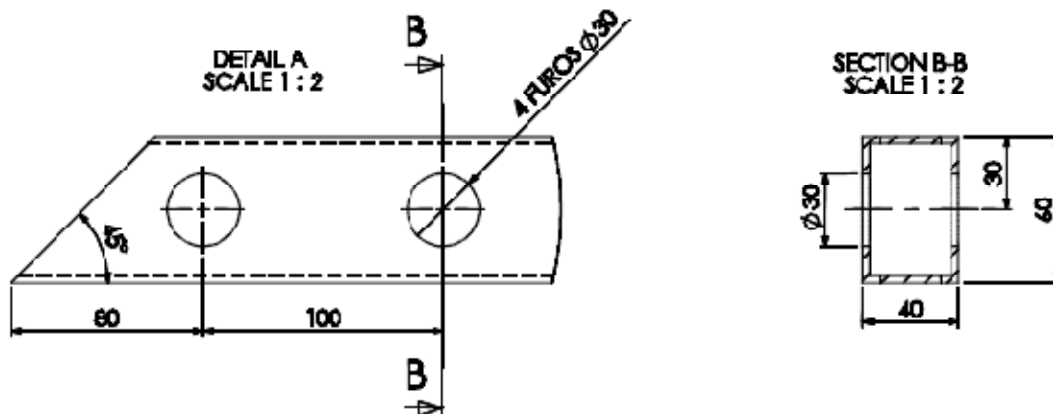


Figura 71 - Detalhe da ligação – Distancia entre furos, Ângulo de corte

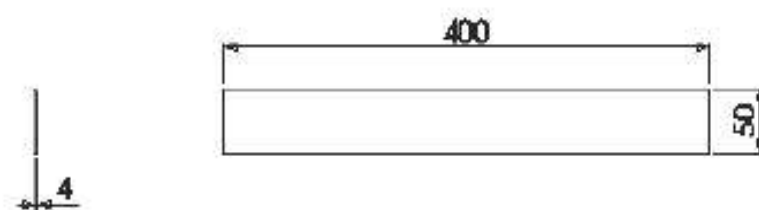


Figura 72 - Chapa de reforço

5.3. Metodologia de estudo

O primeiro passo consiste em verificar se efectivamente um corte oblíquo, constitui uma vantagem considerável face a um corte a direito, visto o primeiro ser de mais difícil execução e potencialmente mais oneroso, ainda que marginalmente.

Também será estudado se a complexidade da ligação actualmente utilizada, compensa quando comparada com uma simples soldadura topo-a-topo.

No caso de se verificar que as chapas de reforço, são um elemento preponderante no reforço da soldadura topo-a-topo dos perfis, será proposta uma alternativa igualmente eficaz no alívio das tensões nessa zona tendo em conta uma maior facilidade de execução do que na solução actualmente utilizada.

5.4. Aferição teórica do melhor tipo de corte

Objectivo: Determinar se existem diferenças assinaláveis do tipo de corte, na ligação actualmente utilizada.

Considerações teóricas

Efectuando um estudo teórico do que sucederá, é possível avaliar se os resultados dos testes irão ser plausíveis, fornecendo uma maior confiança dos resultados dados pelo programa.

Para isso, calcular-se-á uma tensão equivalente num caso e noutro comparando o seu valor, quando a modelação de um provete é sujeita a uma força de tracção “N”.

Notas:

- Este estudo, tem em consideração o conhecimento da empresa, em que quando não é efectuado uma preparação dos bordos a soldar, não se consegue obter uma penetração de soldadura na totalidade da espessura dos bordos. Assim considera-se que para um perfil de 3mm de espessura, obtém-se uma penetração de 1,5mm. Os cortes efectuados nas figuras 73 e 74, servem para se perceber as limitações de penetração da soldadura e em ambos os casos considerou-se uma penetração de metade da espessura.
- Todas as tensões apresentadas pelo software, referem-se às tensões máximas equivalentes segundo o critério de von Misses, e estão em N/m^2 ou Pa.

5.4.1. Corte oblíquo

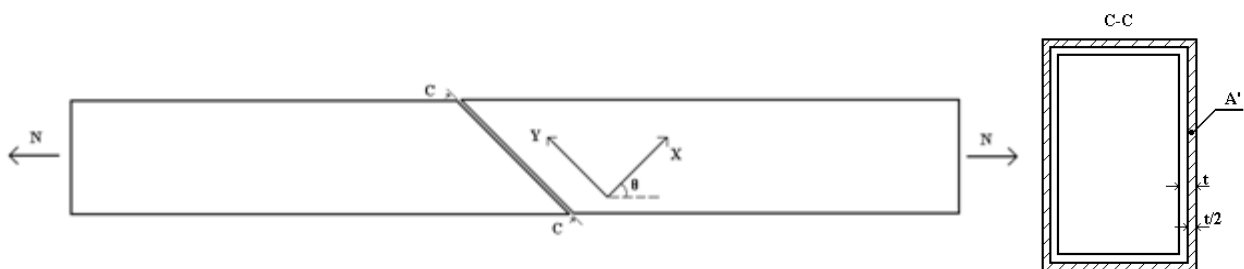


Figura 73 - Representação em corte da zona de ligação por soldadura, de um corte oblíquo

Componente de tensão normal ao plano coincidente com a soldadura

$$\sigma_x' = \frac{N \cos \theta}{A'} = \frac{N \cos \theta}{\frac{A}{\cos \theta}} = \frac{N}{A} \cos^2 \theta$$

Equação 1

Tensão de corte no mesmo plano

$$\tau_{xy}' = \frac{N}{A} \sin \theta \cos \theta$$

Equação 2

Determinação da tensão equivalente

Sabe-se que,

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x'}{2}\right)^2 + \tau_{xy}'^2} = \sqrt{\left(\frac{\frac{N}{A} \cos^2 \theta}{2}\right)^2 + \left(\frac{N}{A} \sin \theta \cos \theta\right)^2} = \cos \theta \sqrt{-\frac{3}{4} \cos^2 \theta + 1} \frac{N}{A}$$

Equação 3

e que segundo o critério de Tresca,

$$\sigma_{eq} = 2\tau_{\max} = 2 \cos \theta \sqrt{-\frac{3}{4} \cos^2 \theta + 1} \frac{N}{A}$$

Equação 4

5.4.2. Corte normal à direcção longitudinal do perfil

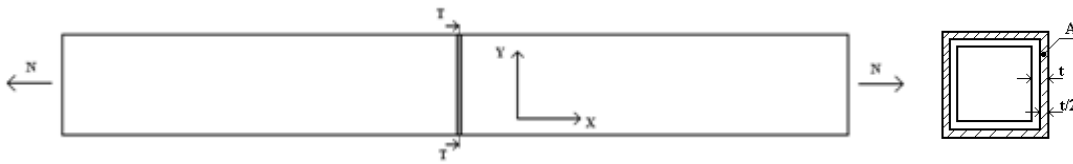


Figura 74 - Representação em corte da zona de ligação por soldadura, de um corte a direito

A tensão normal verificada neste caso é dada por,

$$\sigma_x = \frac{N}{A}$$

Equação 5

5.4.3. Conclusão teórica

Para uma solicitação do tipo axial, o tipo de corte que produz potencialmente uma tensão menos elevada (considerando penetração parcial da soldadura), é o corte normal à direcção longitudinal ao perfil.

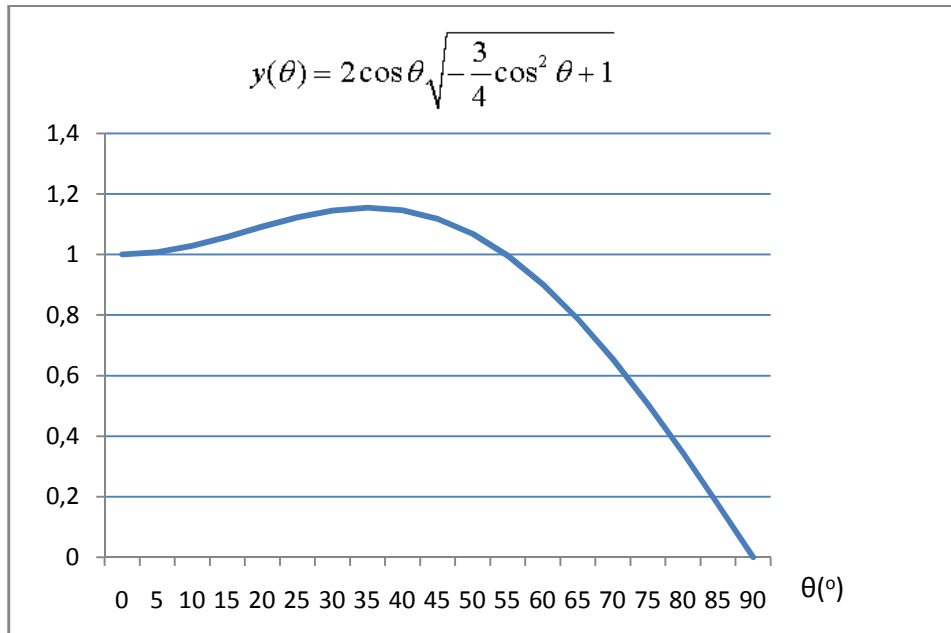
No caso de se considerar um corte oblíquo a $\theta=45^\circ$ na equação 4 (ângulo correntemente utilizado na fabricação desta peça), a tensão equivalente de Tresca tomaria o valor de,

$$\begin{aligned}\sigma_{eq} &= 2 \cos 45^\circ \sqrt{-\frac{3}{4} \cos^2 45^\circ + 1} \frac{N}{A} \\ \Leftrightarrow \sigma_{eq} &= 1,118 \frac{N}{A}\end{aligned}$$

De onde se conclui que efectuar um corte oblíquo não se revela uma boa solução, pelo menos para a solicitação em causa e com o ângulo utilizado $\theta=45^\circ$.

No entanto existiriam outros ângulos que permitiriam obter valores inferiores de tensão. É possível estudar, para que valores de ângulo de corte é que se obteriam valores de tensão inferiores ao caso de um corte perpendicular aos perfis.

De seguida é apresentado um gráfico (figura 75) da evolução de σ_{eq} (equação 4) em função de θ (supondo $\frac{N}{A}$ constante e de valor unitário),

Figura 75 - Variação de $y(\theta)$ com o ângulo de corte θ

Conclui-se que efectuando um corte nos perfis com $\theta > 55^\circ$ é possível obter melhores resultados, no que concerne ao valor de tensão nominal presente no cordão de soldadura. No entanto, quanto maior for θ menos eficiente é a penetração do cordão de soldadura, mais difícil é o corte, e mais moroso é o tempo de soldadura.

Em teoria, conclui-se que de facto não parece haver alguma vantagem em efectuar-se o corte dos perfis com um ângulo $\theta = 45^\circ$.

Espera-se por isso que a modelação em elementos finitos corrobore as conclusões efectuadas, para este tipo de solicitações.

5.5. Determinar se existem diferenças assinaláveis do tipo de corte, na ligação simples topo-a-topo entre dois perfis semelhantes aos utilizados na ligação.

Tipo de Solicitação: Tracção

Condições do estudo:

- Componente do ensaio:
 - 2 perfis de secção 50x40x3, com 300mm de comprimento cada
 - 2 chapas de reforço à ligação
- Valor da força axial aplicada: 10 N

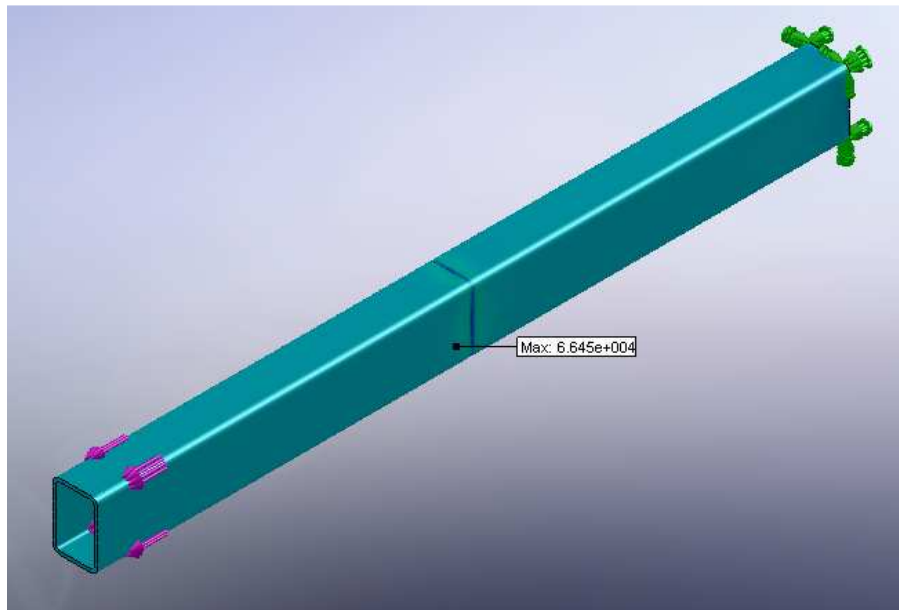


Figura 76 - Ligação simples, corte a direito – Solicitação: Tracção – Localização da tensão máxima

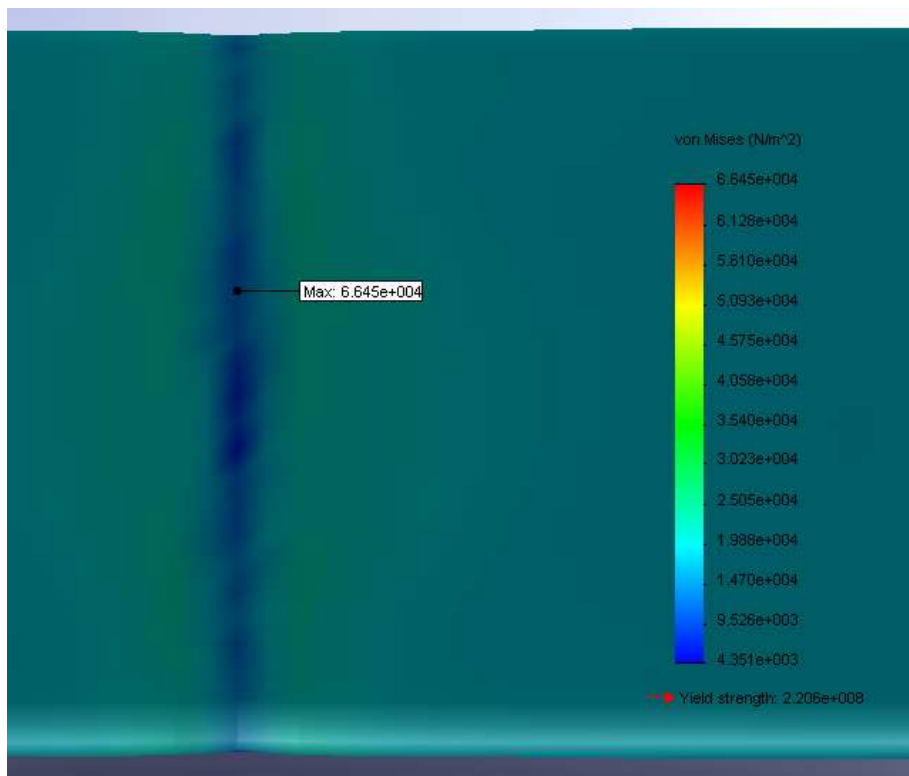


Figura 77 - Ligação simples, corte a direito – Solicitação: Tracção - Localização da tensão máxima verificada

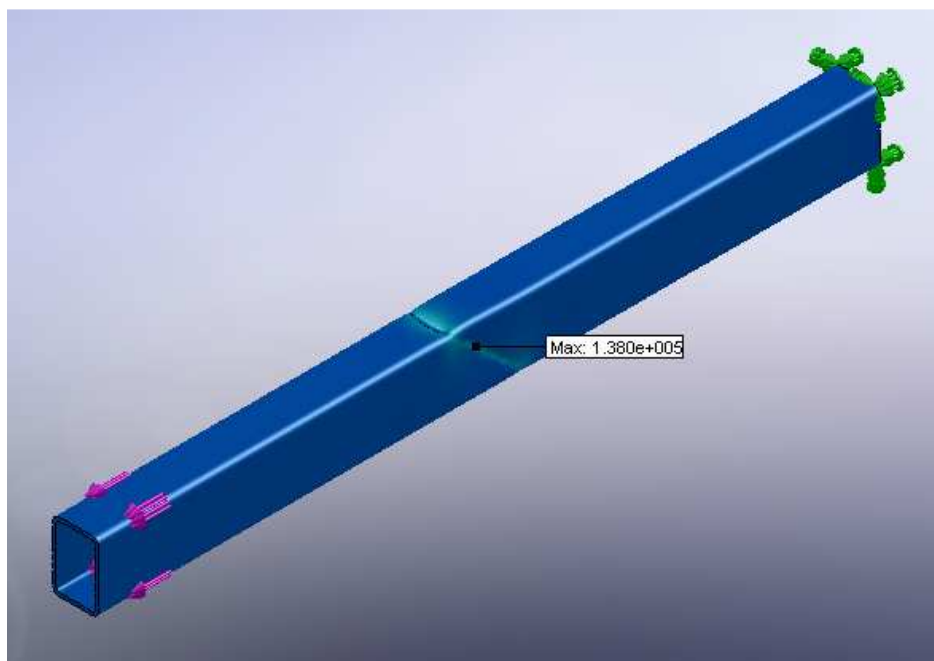


Figura 78 - Ligação simples, corte oblíquo – Solicitação: Tracção - tensão equivalente máxima (Pa)

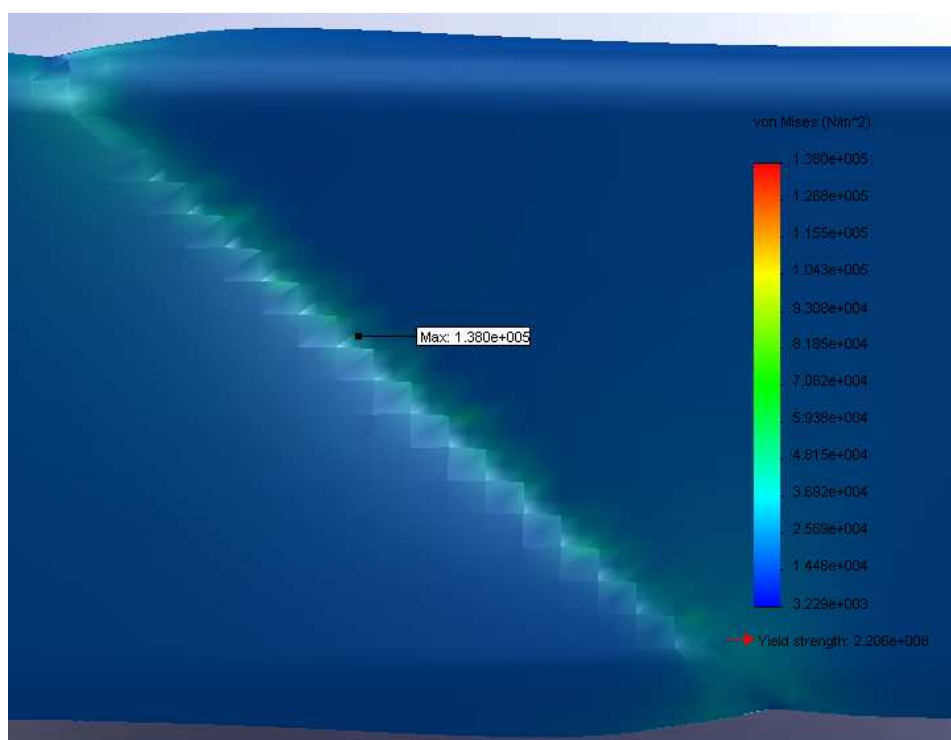


Figura 79 - Ligação simples, corte oblíquo – Solicitação: Tracção - Localização da tensão máxima verificada (vista lateral)

Observações

Registe-se que nas vistas isométricas (figuras 76 e 78) a seta indicando o valor máximo da tensão equivalente de von Misses, não identifica claramente o ponto onde tal ocorre. Pare se precisar esse ponto, há que rodar o sólido até à identificação precisa do ponto, como mostrado nas figuras 77 e 79. Esta situação repete-se nas figuras subsequentes.

Como se pode observar nas figuras 76 à 79, existe um incremento substancial verificado da tensão equivalente no corte oblíquo vs corte a direito, verificando-se um aumento considerável face ao corte a direito. Embora se tenha provado teoricamente que para $\theta=45^\circ$, o corte efectuado obliquamente declara tensões inferiores que o corte a direito, os valores sugeridos pelo software de cálculo, relevam-se numericamente inadequados devido à diferença excessiva dos valores de tensão encontrados nos cordões de soldadura.

As situações de picos de tensões extraordinariamente elevados ocorrem, quando existem variações bruscas de secção. É precisamente o que acontece na zona de soldadura modelada, como se observar na figura 18.

No entanto, na realidade isto não acontece, pois o cordão de soldadura evidentemente não possui as formas angulosas que podem ser observadas na referida figura.

Perante o exposto, as expectativas destes estudos resumem-se apenas à determinação das melhores soluções, baseadas nos valores nominais das tensões, embora a sua credibilidade sirva apenas como comparação.

5.6. Determinar se existem diferenças assinaláveis do tipo de corte, na ligação actualmente utilizada

5.6.1. Tipo de solicitação: Tipo momento flector.

Condições do estudo:

- Componente do ensaio:
 - 2 perfis de secção 50x40x3, com 300mm de comprimento cada
 - 2 chapas de reforço à ligação
- Valor do Momento flector aplicado: 10Nm

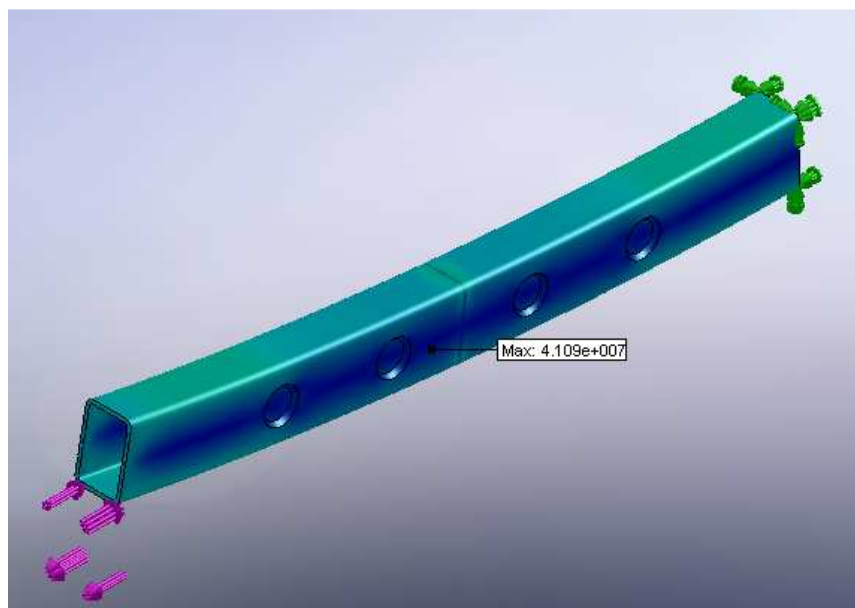


Figura 80 - Ligação reforçada, corte a direito – Solicitação: Momento flector

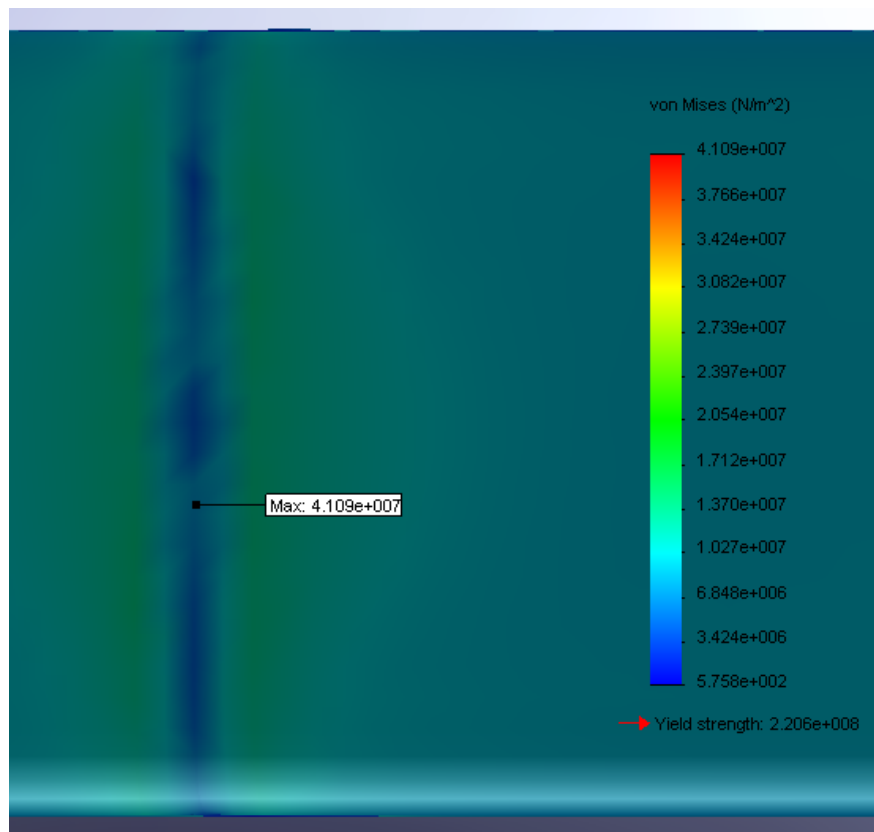


Figura 81 - Ligação reforçada, corte a direito – Solicitação: Momento flector - Localização da tensão máxima verificada (vista inferior)

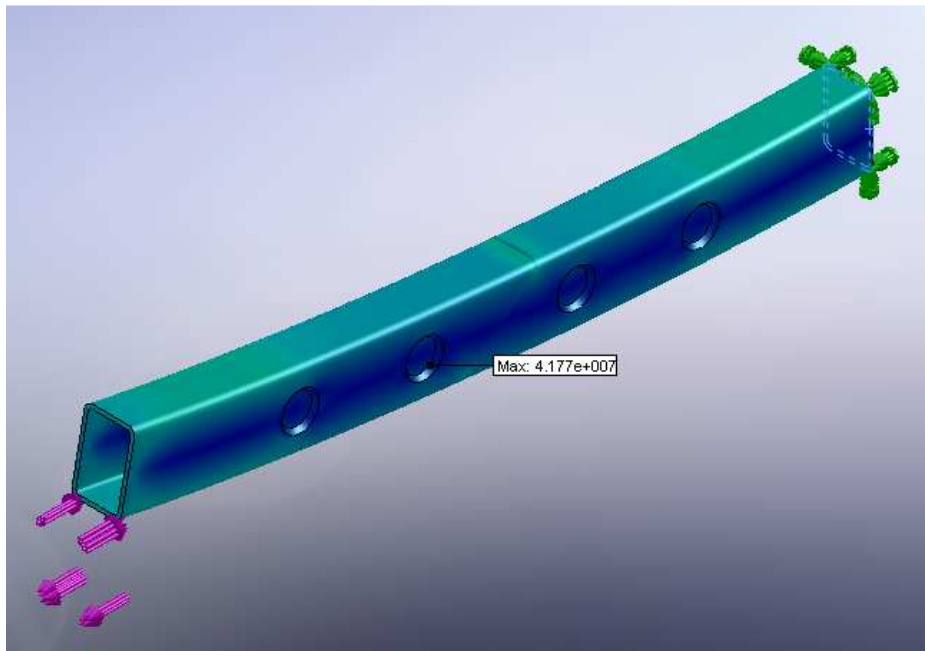


Figura 82 - Ligação reforçada, corte oblíquo – Solicitação: Momento flector

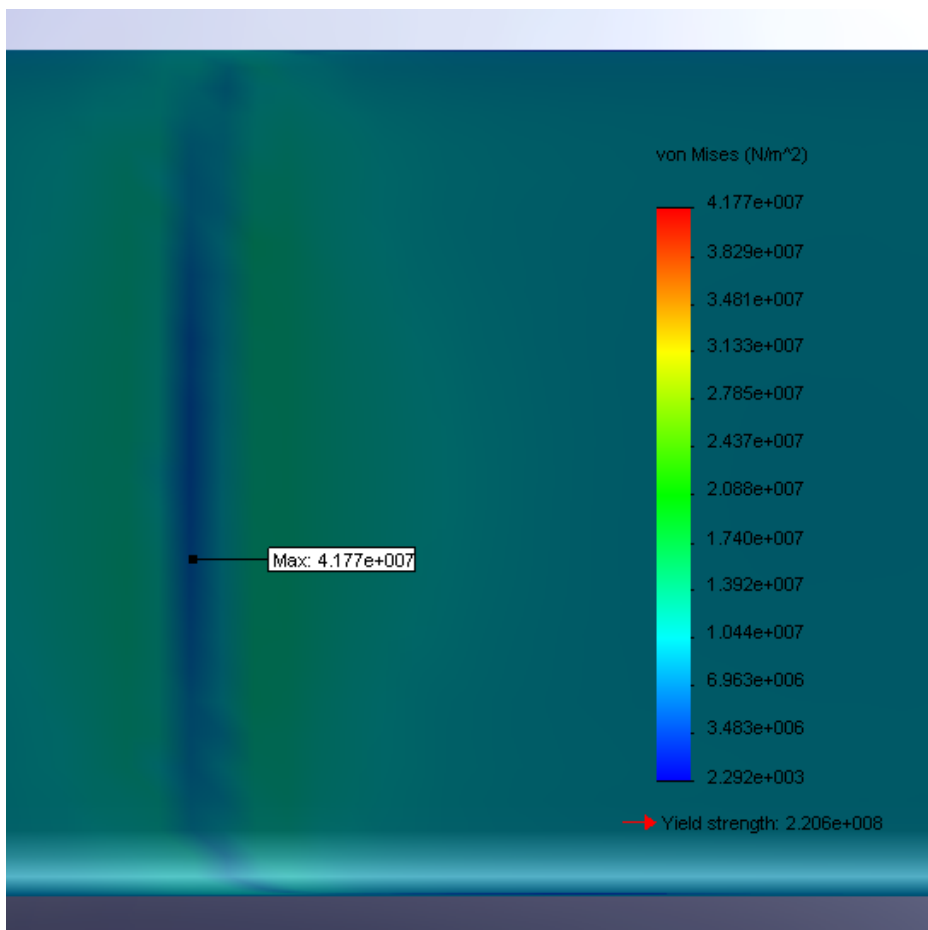


Figura 83 - Ligação reforçada, corte oblíquo – Solicitação: Momento flector - Localização da tensão máxima verificada (vista inferior)

Observação

Embora se mantenha a vantagem do corte a direito, relativamente ao oblíquo com a adição das chapas a essa mesma vantagem foi reduzida drasticamente (ver figuras 80 à 83).

5.6.2. Tipo de Solicitação: Momento torsor

Condições de Ensaio:

- Componente do ensaio:
 - 2 perfis de secção 50x40x3, com 300mm de comprimento cada
 - 2 chapas de reforço à ligação
- Comprimento total do perfil : 600mm
- Valor do Momento torsor aplicado: 10Nm

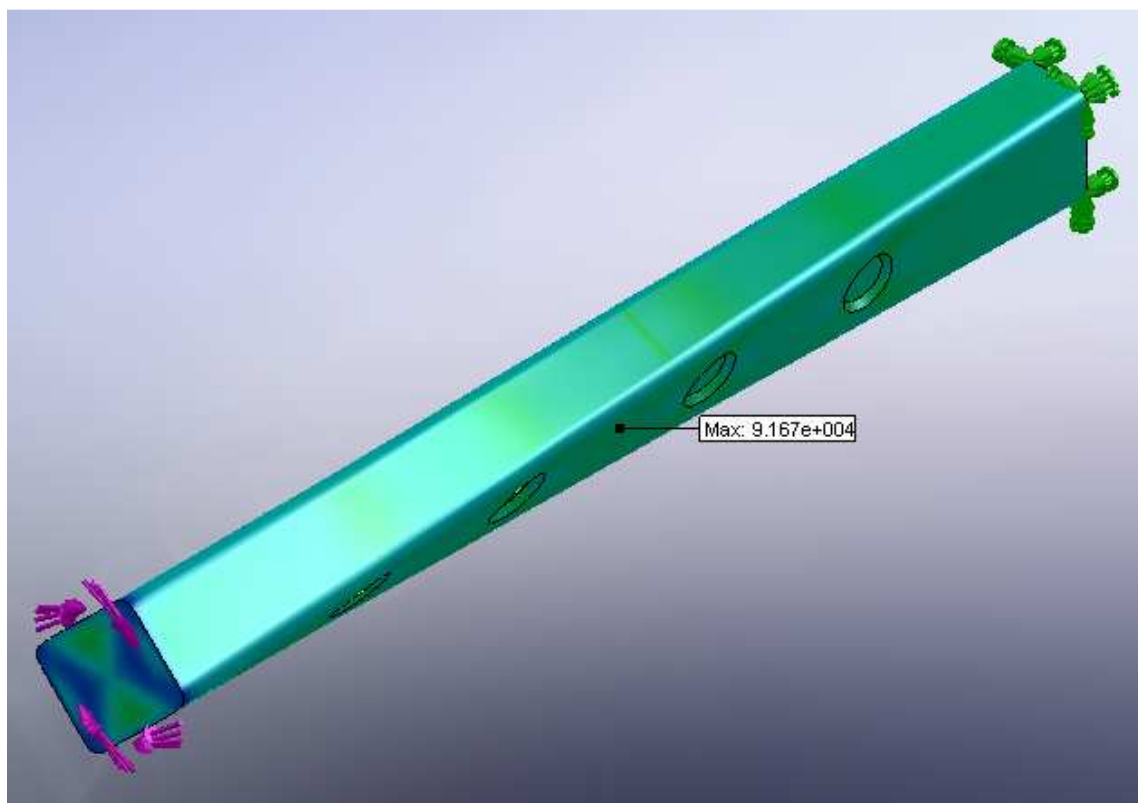


Figura 84 - Ligação reforçada, corte oblíquo – Solicitação: Momento torsor

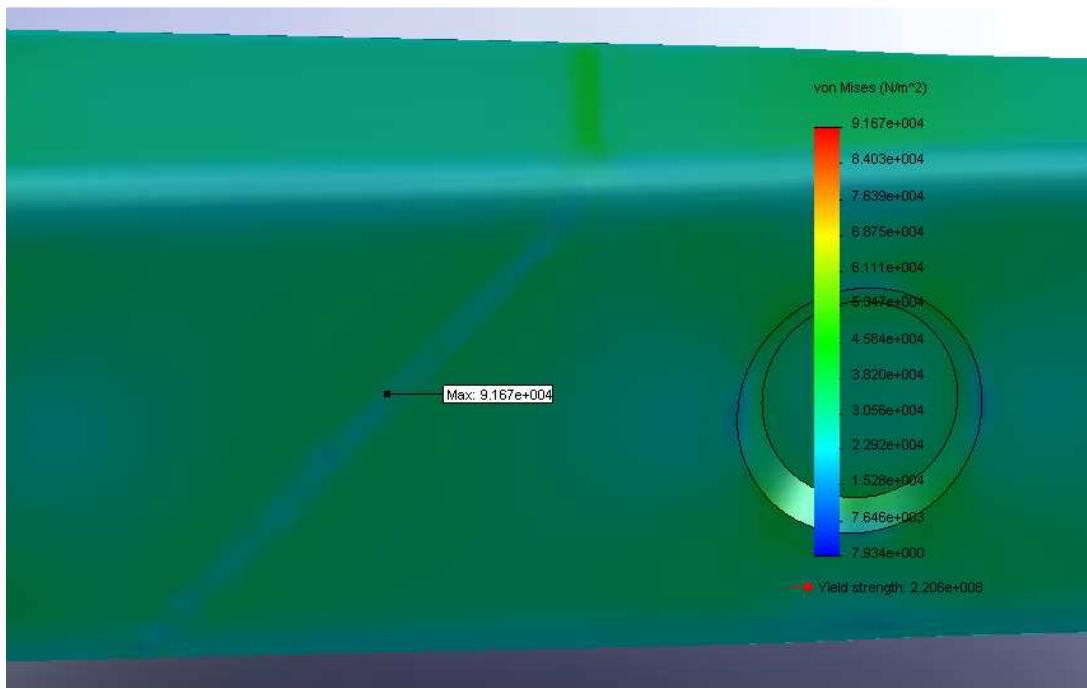


Figura 85 - Ligação reforçada, corte oblquo – Solicitação: Momento torsor – Localização da tensão máxima verificada (vista lateral)

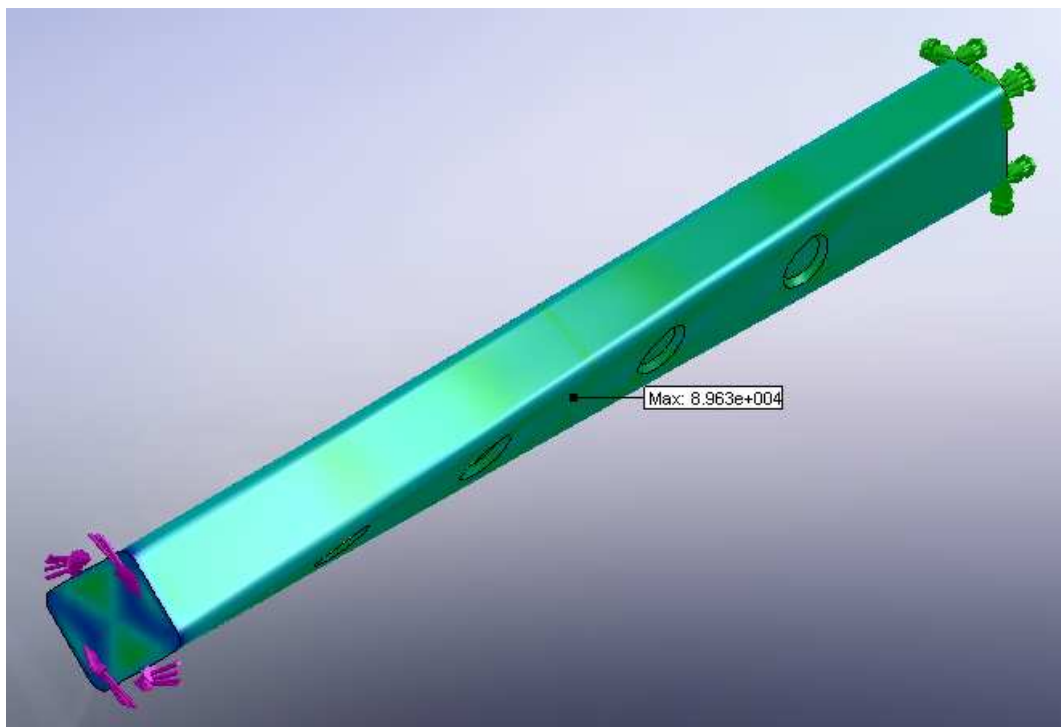


Figura 86 - Ligação reforçada, corte oblquo – Solicitação: Momento torsor

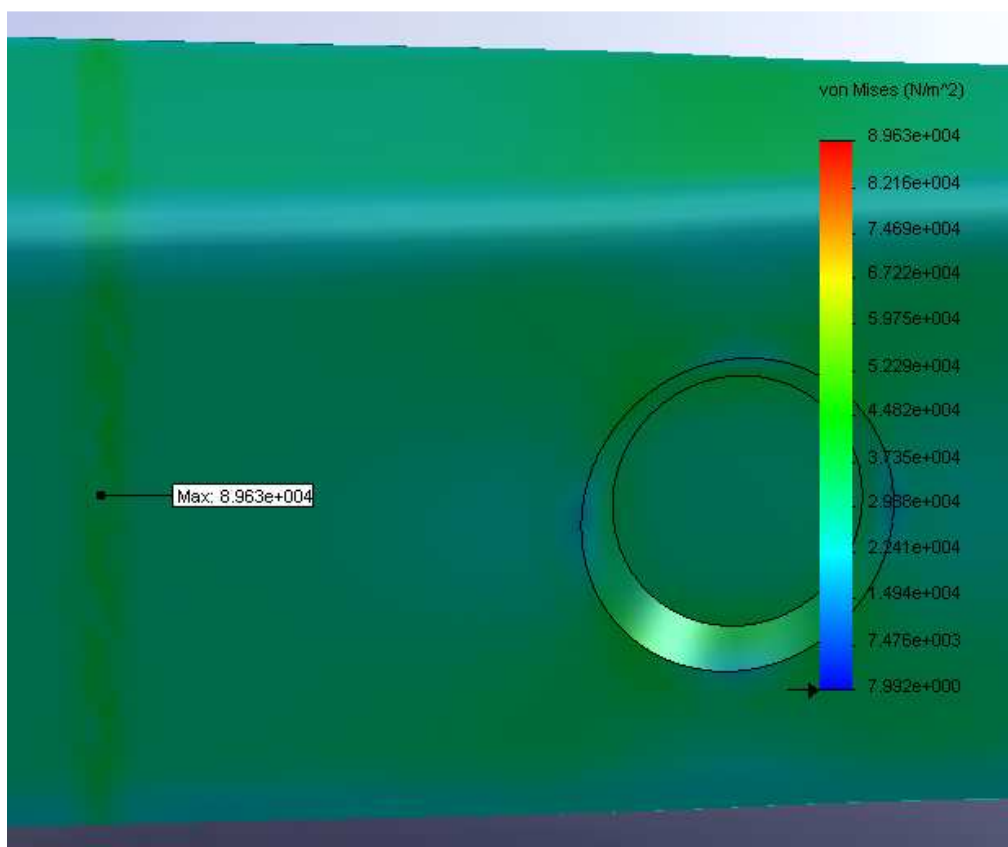


Figura 87 - Ligação reforçada, corte a direito – Solicitação: Momento torsor – Localização da tensão máxima verificada (vista lateral)

Observações

Não existem diferenças assinaláveis do valor de tensão máximo entre os dois tipos de corte perante uma solicitação de um momento torsor (figuras 84 à 87).

Como se pode verificar, nesta modelação na qual se sujeita a modelação do provete a um momento torsor foi adicionada uma pequena placa de dimensões $47 \times 37 \times 3$ numa das extremidades (ver figura 88). Verificou-se que com a aplicação do momento torsor directamente no provete, obtinham-se tensões máximas na extremidade onde este estava aplicado. Uma vez que a zona de estudo é a soldadura, era necessário “transferir” o valor de tensão máxima para esse local, para assim estudar os efeitos que cada solução influía no cordão de soldadura. Com a aplicação da chapa esse objectivo foi cumprido, visto que ao reforçar a extremidade do provete logo a tensão máxima passou para um local mais solicitado, o cordão de soldadura.

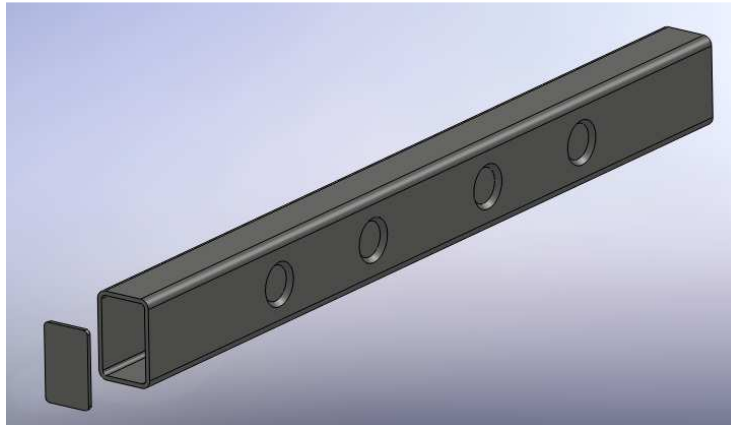


Figura 88 - Tampa de reforço

5.7. Verificação da existência de vantagens consideráveis deste tipo de ligação, face a uma solução do tipo ligação topo-a-topo sem a utilização de reforços adicionais

Considerações:

Numa simples ligação topo-a-topo é recomendável efectuar uma preparação de bordos, para que desta forma se obtenha uma melhor penetração da soldadura melhorando a resistência da ligação.

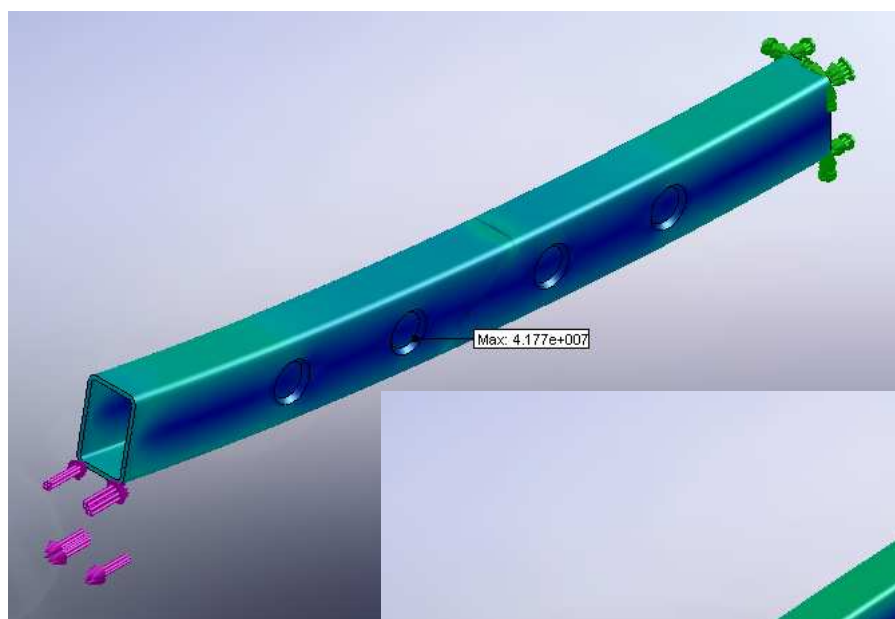
Assim para ligações topo-a-topo será considerada uma penetração de 2mm ao passo que na ligação reforçada este valor é de apenas 1,5mm pois não se justifica tal preparação.

5.7.1. Tipo de Solicitação: Momento flector

Condições de Ensaio:

- Componente do ensaio: 2 perfis de secção 50x40x3, com 300mm de comprimento cada
- Valor do momento flector aplicado: 10Nm

Ligação Reforçada



Ligação Simples

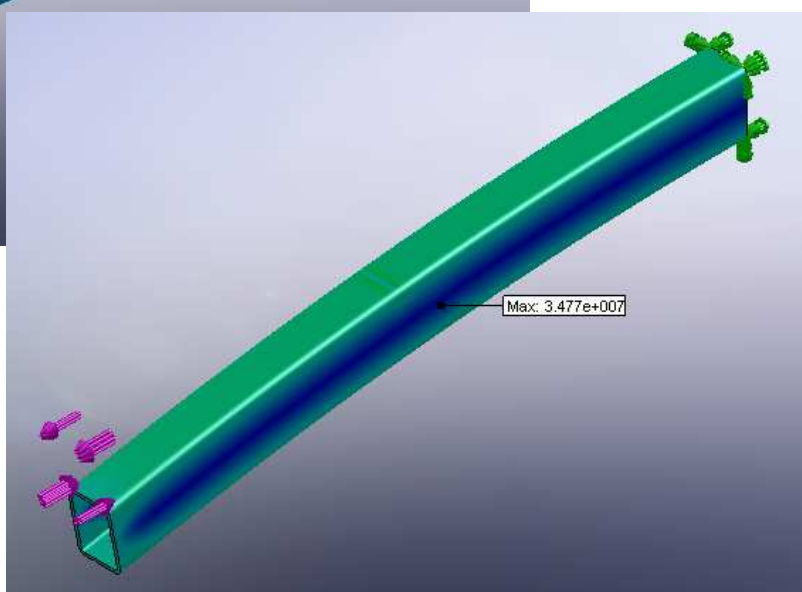
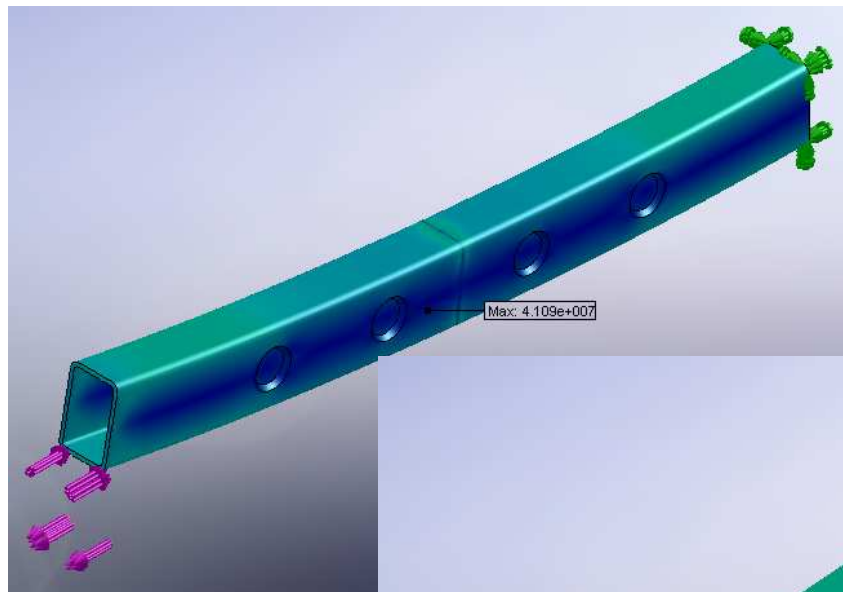


Figura 89 - Comparação dos níveis de tensão, corte oblquo – Solicitação: Momento flector

Ligação Reforçada



Ligação topo-a-topo

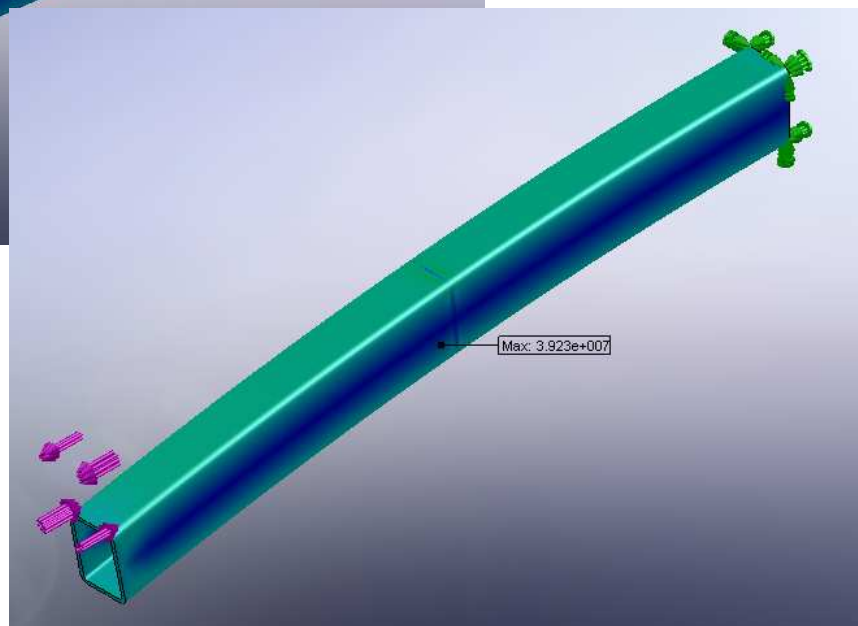


Figura 90 - Comparação dos níveis de tensão, corte a direito – Solicitação: Momento flector

Observação

O par de ligações simples topo-a-topo demonstram melhores resultados que a respectiva ligação reforçada (figura 89 e figura 90 respectivamente). Considerando o conjunto das duas ligações simples, a vantagem do corte oblíquo não é suficientemente evidente, e como se pretende reduzir os custos de produção, conclui-se que a melhor solução seria para esta solicitação em concreto, a ligação simples topo-a-topo de corte a direito.

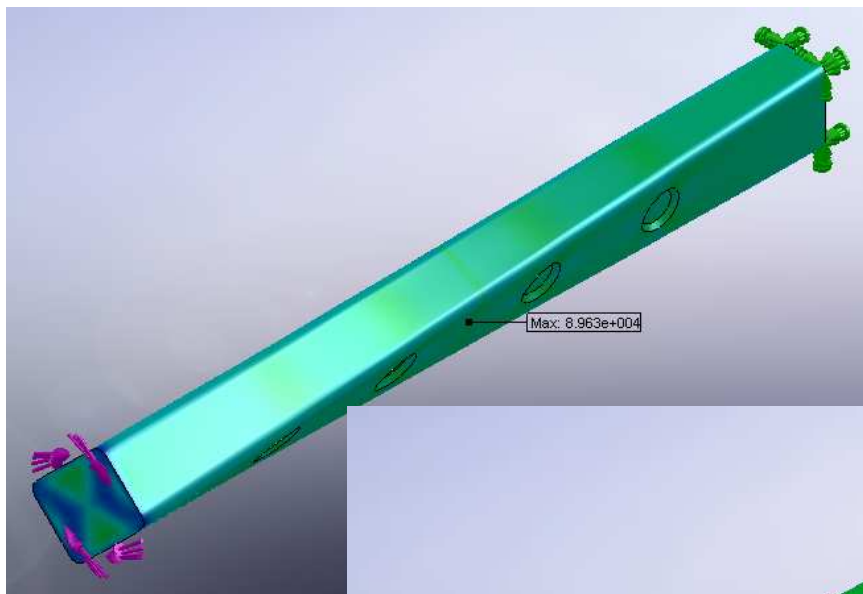
5.7.2. Tipo de Solicitação: Momento Torsor

Objectivo: Verificar se com a aplicação de um momento torsor, beneficia-se com a utilização de uma ligação reforçada face a uma ligação simples (considerando corte a direito).

Condições de Ensaio:

- Componente do ensaio: 2 perfis de secção 50x40x3, com 300mm de comprimento cada
- Valor do Momento torsor aplicado: 10Nm

Ligação Reforçada



Ligação simples

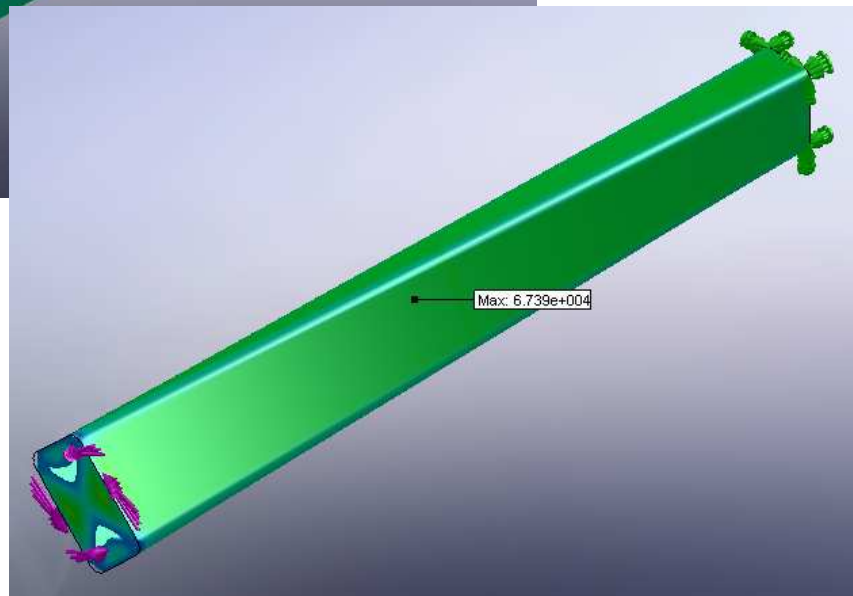


Figura 91 - Comparação dos níveis de tensão, corte a direito – Solicitação: Momento flector

Observações

As mesmas observações feitas anteriormente são válidas para o caso de a solicitação ser um momento torsor (figura 91).

5.8. Conclusões Finais

- De facto não é justificável a ligação actualmente utilizada. Provou-se através de uma modelação em elementos finitos, que uma simples ligação topo-a-topo entre os dois perfis, acompanhada de uma preparação de bordos é de facto uma solução superior por apresentar valores máximos de tensões mais reduzidos, como também por ser economicamente muito mais interessante.
- Por outro lado, não foram contabilizados os fenómenos de tensões residuais provocados pelas 8 soldaduras de canto efectuadas para ligar as chapas de reforço aos perfis, o que constituiria por certo, mais um factor negativo a considerar para a solução actualmente utilizada.

6. Propostas de trabalho futuros

Infelizmente não houve a oportunidade de efectuar validações práticas das soluções recomendadas, uma vez que a máquina destinada a esse efeito não estava operacional na altura devida. Assim, uma das sugestões propostas passa consequentemente pela realização desses trabalhos. Para isso serão apresentados algumas informações relevantes para o efeito.

6.1. Ligações estudadas no âmbito do regulamento ECE/ONU nº 66, [1,2]

Antes de prosseguir com a definição dos ensaios é importante definir alguns conceitos que surgem na base destes estudos.

Uma vez que são os pilares em conjunto com o tejadilho que conferem protecção aos passageiros nessas situações, são estes os elementos em estudo.

Os provetes sujeitos a ensaios no âmbito deste regulamento, podendo representar a ligação pilar-estrado ou pilar-tejadilho, devem possuir um nível mínimo de energia absorvida. Está definido no regulamento ECE/ONU nº66 que um determinado nível de energia absorvida (relacionado com vários parâmetros do autocarro, como por exemplo a sua massa, a posição do centro de gravidade etc.) num ensaio estático seria suficiente para garantir a segurança dos passageiros em caso de capotamento. Significa isto, que quando estes provetes forem sujeitos a uma determinada solicitação deve observar-se que num gráfico força vs. deslocamento exista uma área com um valor de energia igual ou superior ao valor definido para o autocarro em questão. Um exemplo de um gráfico real de um ensaio realizado na empresa de uma ligação pilar estrado (sentido de abertura, ver provete de ensaio na figura 92) é apresentado na figura 93.



Figura 92 Proвете de ensaio da ligação pilar estrado, sentido de abertura

Lloyd Instruments Data Analysis Package

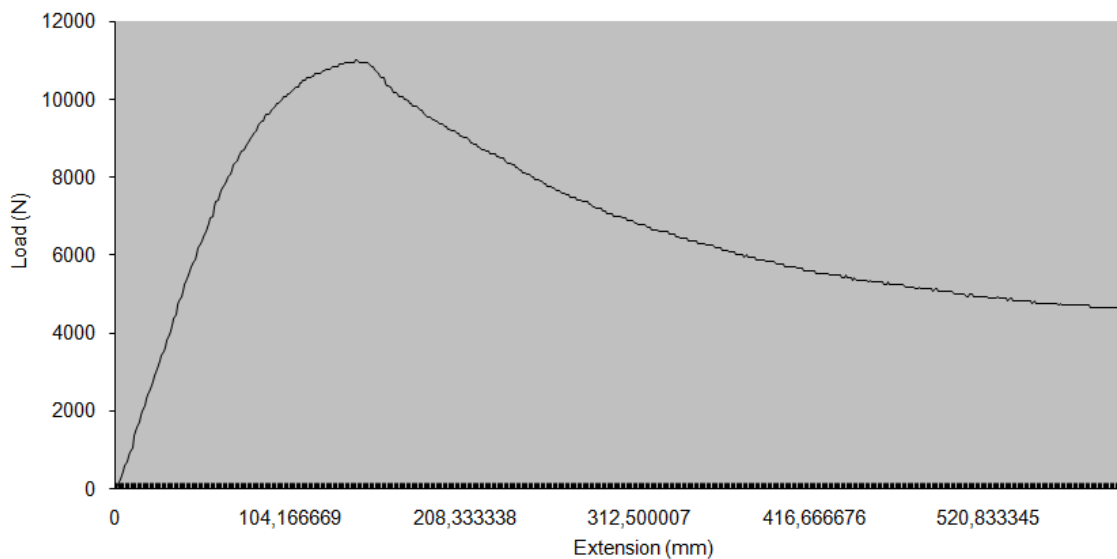


Figura 93 - Gráfico força vs. deslocamento

Este valor está definido no regulamento ECE/ONU nº 66, [1,2]. No entanto essa área (correspondente à energia absorvida) só é válida até um limite máximo de deformação. Esse limite define um valor de deformação que uma vez atingido, implica que a estrutura deformada penetre na área residual, isto é, a área “habitada” pelos passageiros (ver figura 94)

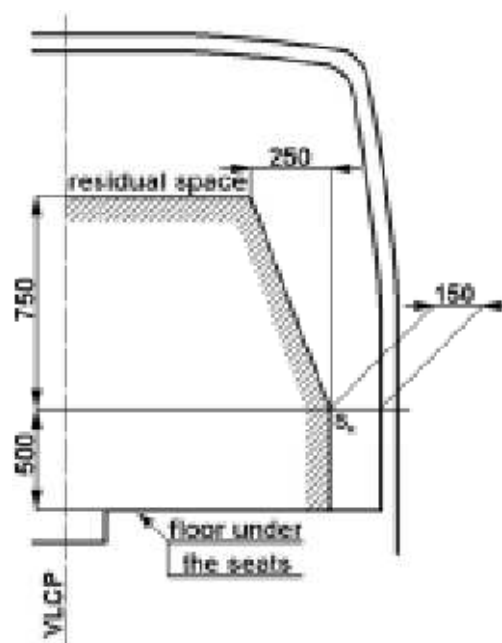


Figura 94 - Representação da área residual (figura transcrita da ref. [1]).

Nota:

A figura 91 define a área residual, isto é, estabelece a área na qual nenhum elemento do autocarro deve interferir numa situação de capotamento.

6.2. Ensaaios relativos às soluções preconizadas

Note-se que os ensaios que se pretendiam fazer no âmbito deste projecto, embora relacionados com o cumprimento do Regulamento ECE/ONU nº 66 [1,2], não seguiriam os trâmites referidos anteriormente.

O que se pretendia era maximizar a energia absorvida dos componentes, evitando rupturas precoces dos materiais, uma vez que, actualmente estes componentes já possuem uma absorção de energia suficiente para serem aprovados pelo referido regulamento. O que se procura garantir nestes ensaios, é que as rupturas surjam com níveis superiores de força, maximizando a capacidade de absorção de energia das ligações estudadas.

Estas ligações serão por isso solicitadas a esforços de flexão em dois sentidos opostos (correspondentes à abertura e ao fecho), observando-se para que valores de força acontecem os primeiros sinais de ruptura, comparando-se posteriormente com gráficos semelhantes de estudos prévios efectuados.

6.2.1. Construção das estruturas de ensaio da ligação pilar-estrado

Para efectuar este ensaio é necessário primeiramente proceder à definição das estruturas de suporte necessárias. Serão necessárias duas estruturas distintas, uma para o ensaio de fecho (figura 95) outra para o ensaio de abertura (figura 96), as quais já existem na empresa.

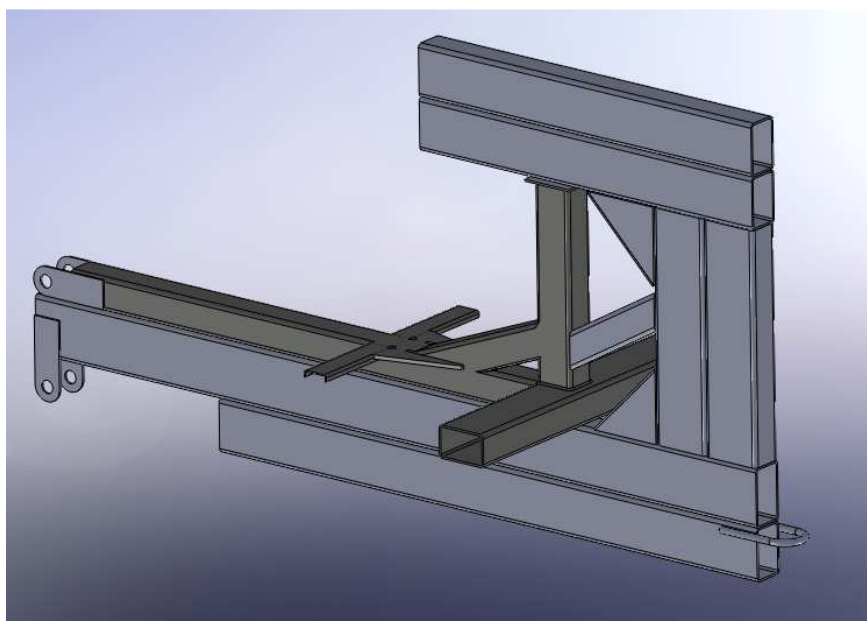


Figura 95 - Estrutura de apoio ao ensaio de fecho da ligação pilar-estrado

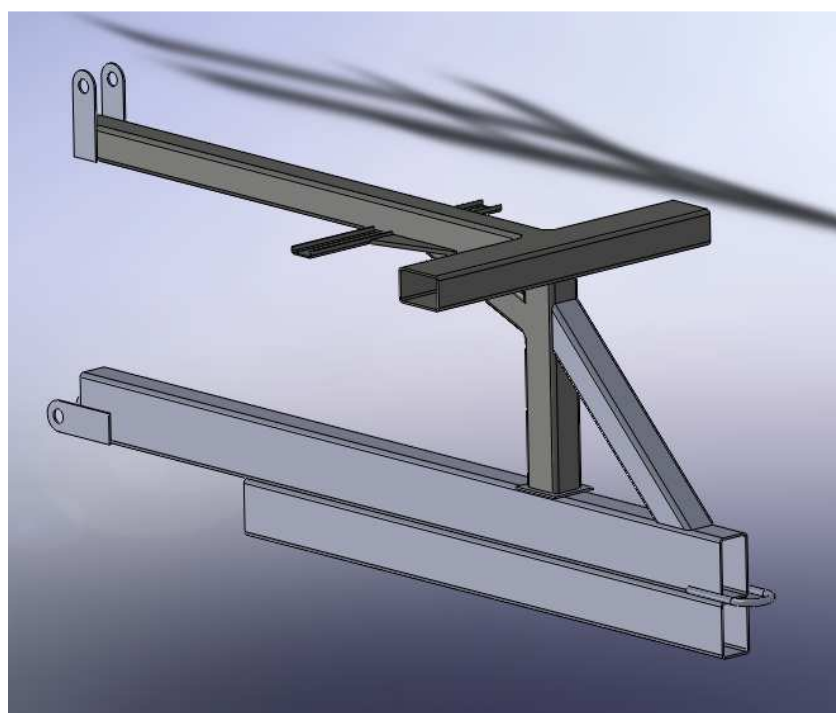


Figura 96 - Estrutura de apoio ao ensaio de abertura da ligação pilar estrado

Os ensaios consistirão em colocar cada uma destas estruturas sob uma solicitação transmitida pela máquina de ensaios através dos olhais, e efectuar uma comparação do gráfico força vs. deslocamento da solução actual, observando-se com esta ligação para o mesmo deslocamento o gráfico apresenta valores mais elevados de força.

É através dos olhais que a máquina transmite os esforços à estrutura, como se pode observar na figura 97.



Figura 97 - Máquina de ensaio

Caracterização das peças utilizadas para a construção das estruturas:

Como se pode observar pelas figuras 98 e 99, houve a preocupação de rentabilizar os materiais pelo facto de nos dois ensaios existir uma partilha dos mesmos.

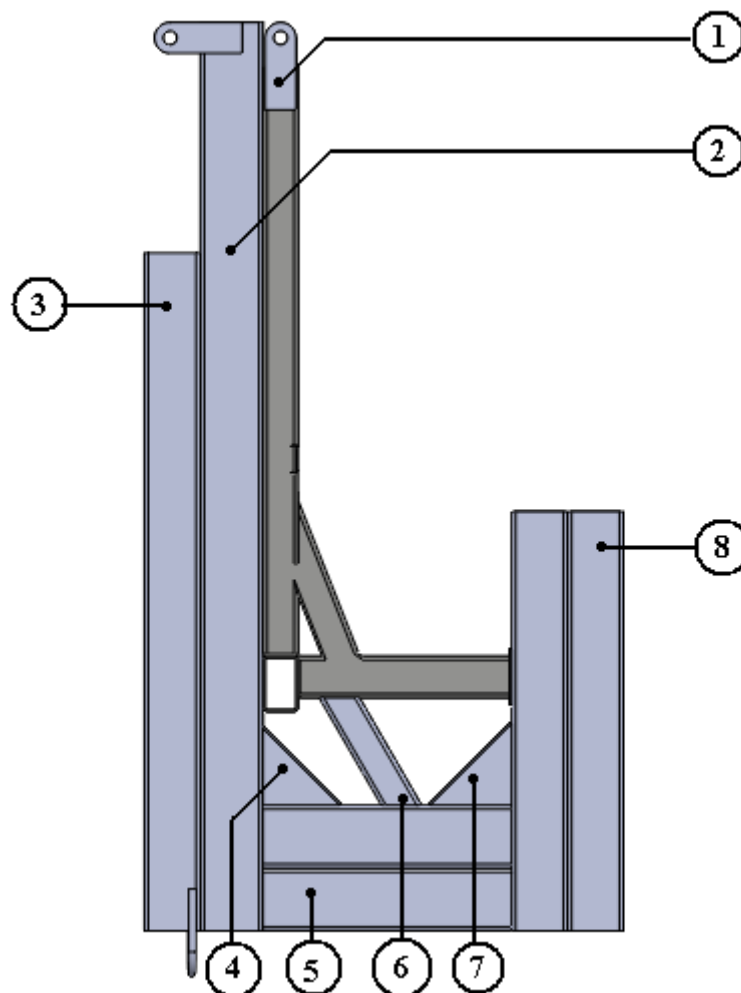


Figura 98 - Esquema representativo da estrutura de apoio ao ensaio de fecho, para posterior legendagem

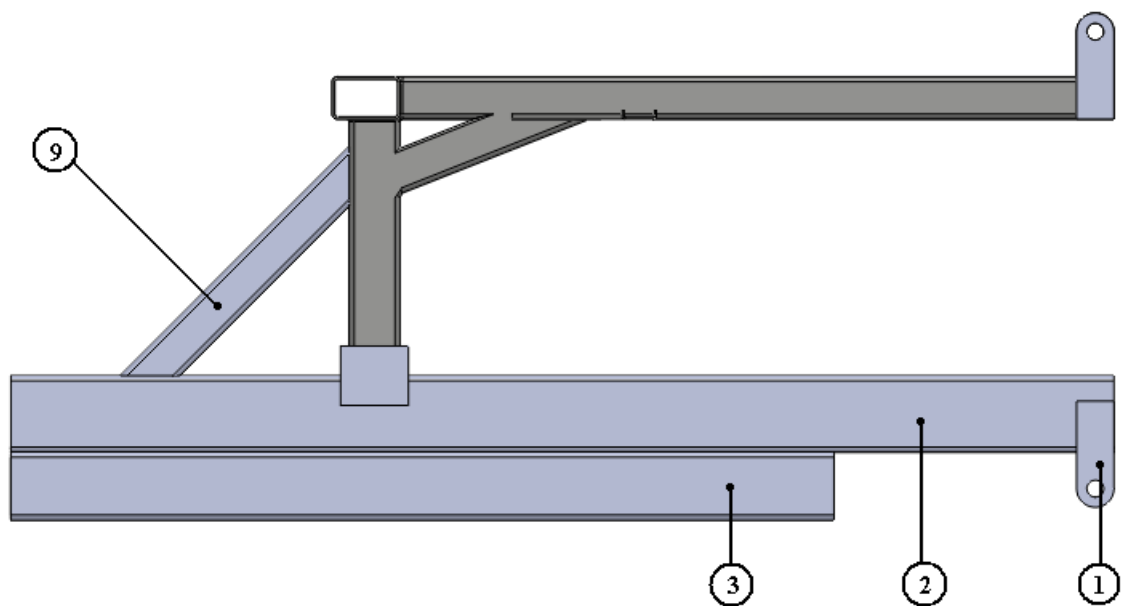


Figura 99 - Esquema representativo da estrutura de apoio ao ensaio de abertura, para posterior legendagem

Nota: Sempre que surjam peças não numeradas, significa que peças semelhantes já foram referenciadas.

- Peça nº 1
 - Quantidade : 4 unidades

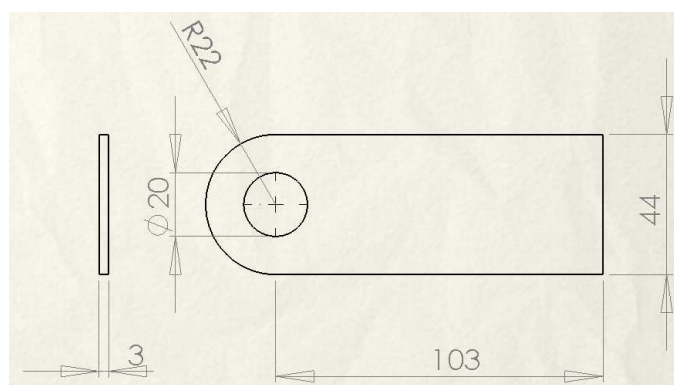


Figura 100 - Cotagem da peça nº 2

- Peça nº 2
 - Quantidade: 1 unidades

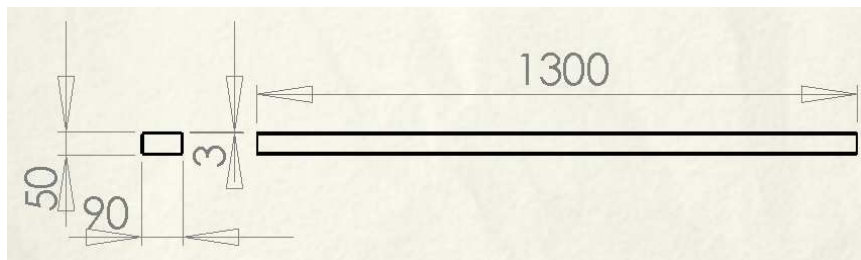


Figura 101 - Cotagem da peça 2

- Peça nº 3
 - Quantidade: 1 unidade

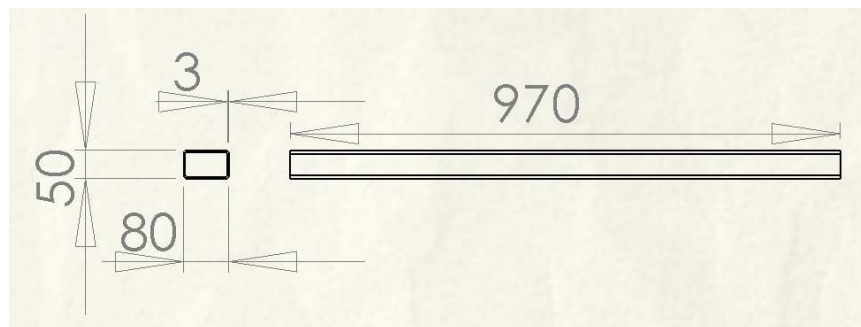


Figura 102 - Cotagem da peça 3

- Peça nº 4 (constituída por 3 partes)
 - Quantidade: 1 unidade

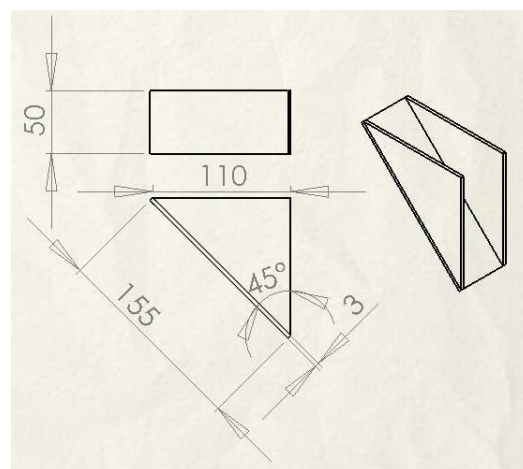


Figura 103 - Cotagem da peça 3

- Peça nº 5
 - Quantidade: 2 unidades

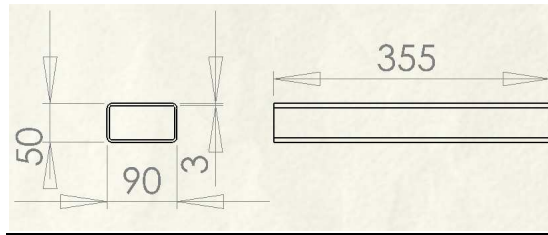


Figura 104 - Cotagem da peça 3

- Peça nº 6
 - Quantidade: 1 unidade

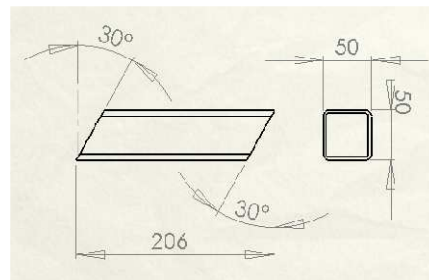


Figura 105 - Cotagem da peça 3

- Peça nº 7
 - Quantidade: 1 unidade

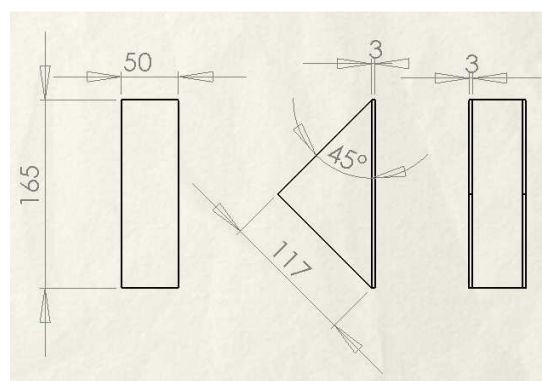


Figura 106 Cotagem da peça 7

- Peça nº 8
 - Quantidade: 2 unidades

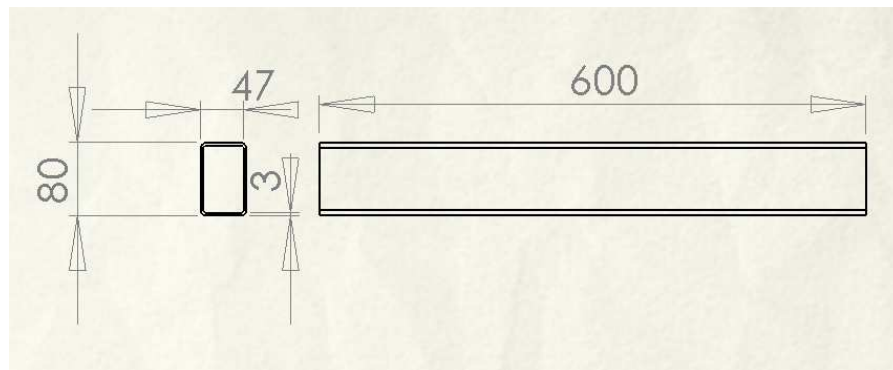


Figura 107 - Cotagem da peça 8

- Peça nº 9
 - Quantidade: 1 unidade

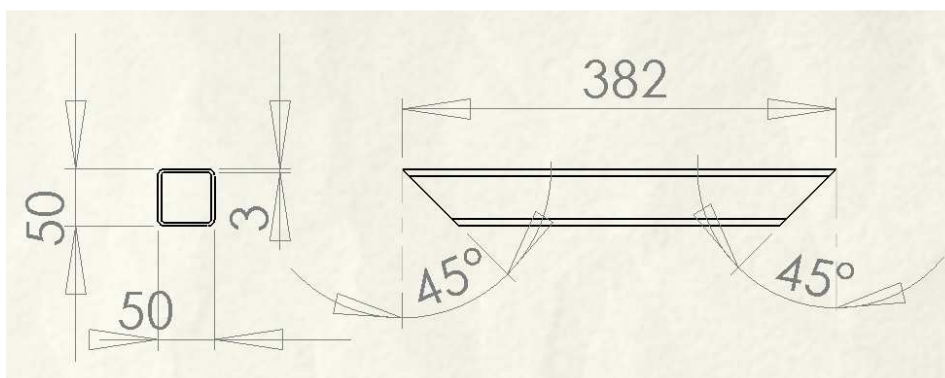


Figura 108 - Cotagem da peça 9

6.2.2. Construção da estrutura de ensaio da ligação pilar-tejadilho – ensaio de abertura

Uma vez mais, é possível aproveitar as mesmas estruturas de suporte, utilizadas pelos ensaios anteriores, pelo que apenas será apresentada o conjunto já montado acompanhado da numeração das peças correspondentes (se relevante), uma vez já estarem completamente definidas (figura 100 à 108).

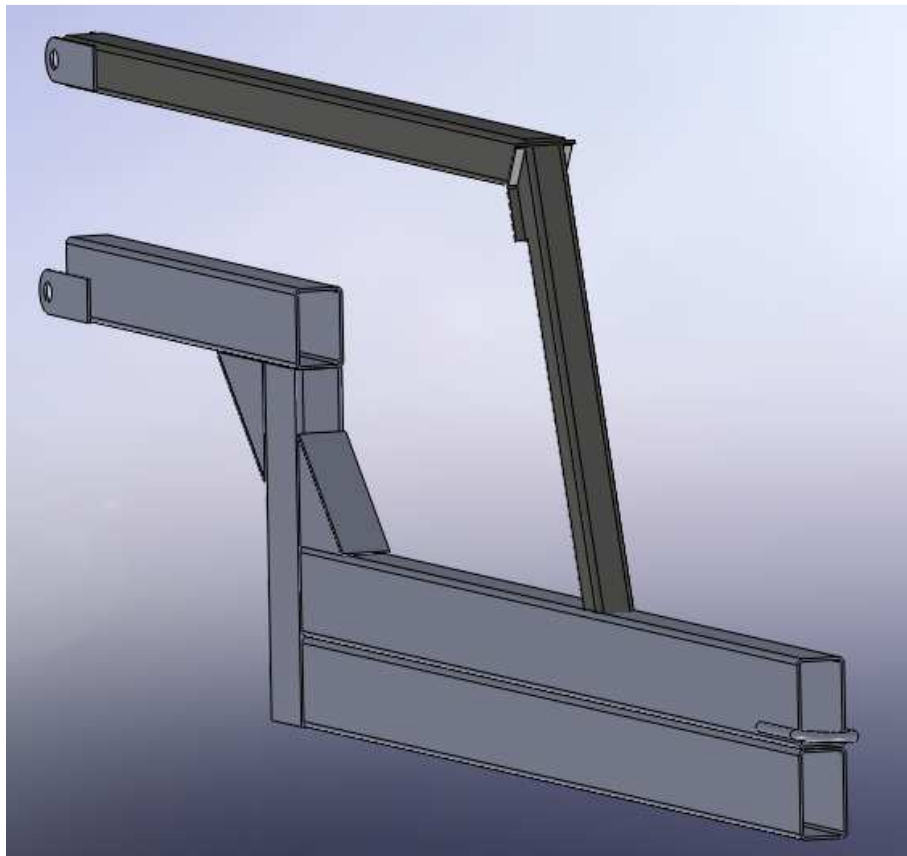


Figura 109 - Estrutura de apoio ao ensaio de fecho da ligação pilar-estrado

6.2.3. Construção da estrutura de ensaio da ligação entre pilares

Nas modelações em elementos finitos desta ligação, foram testadas vários tipos de solicitações, de modo a aferir o comportamento dos modelos em todas as situações possíveis. No entanto neste ensaio prático só se justifica efectuar um ensaio de flexão e de torção uma vez que os esforços normais não são relevantes de acordo com as modelações completas do autocarro que foram efectuadas na empresa. Por limitações técnicas da máquina de ensaio disponível, só será possível efectuar o ensaio de flexão (ver figura 111), o que significa que o de torção terá que ser requisitado a uma entidade externa.

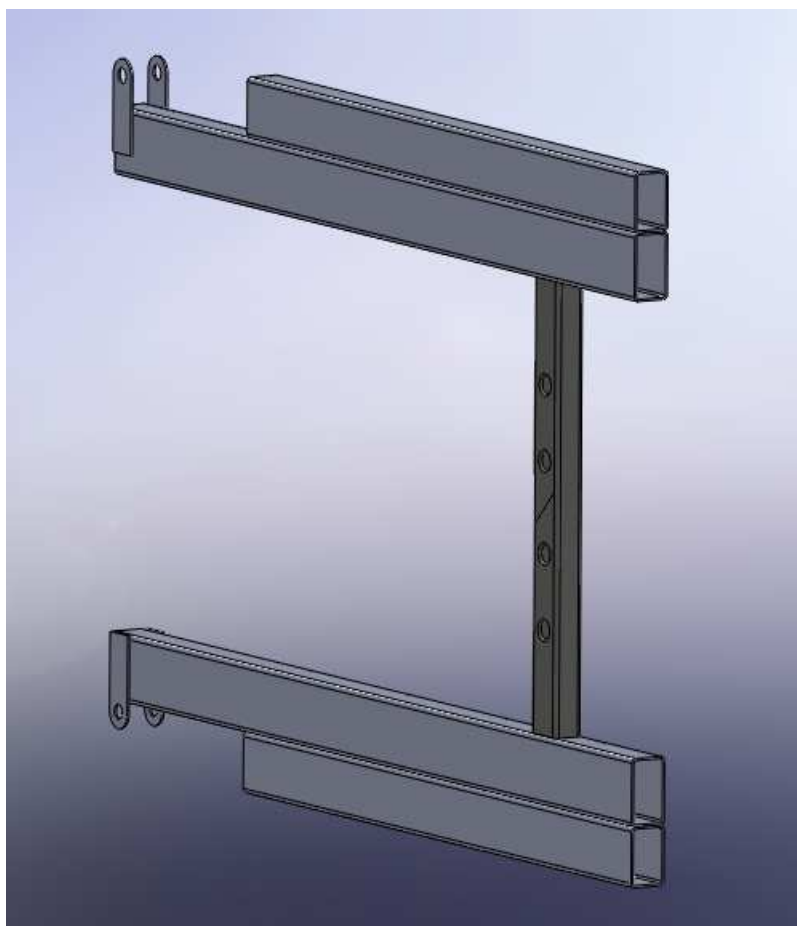


Figura 111 - Estrutura de suporte ao ensaio de flexão

Ao contrário dos primeiros ensaios realizados no âmbito do Regulamento ECE nº 66, onde havia um critério bem definido para se aferir a qualidade das soluções propostas, isto é, existia um nível mínimo de energia absorvida a cumprir, o caso aqui presente não é tão linear.

Pretende-se comparar concretamente a ligação reforçada com a chapa (actualmente existente) com uma simples ligação topo-a-topo. Supõe-se que a ligação reforçada, quando solicitada por flexão, tenha uma curva força vs deformação com uma inclinação superior (por comparação à ligação simples) o que indicia uma ligação mais rígida e em princípio superior. No entanto, é preciso considerar que as soldaduras que ligam a chapa aos perfis tubulares, podem eventualmente originar uma ruptura precoce do tubo, fazendo com que este rompa diminuindo abruptamente a rigidez registada da solução por razões óbvias.

Por outro lado, há mais um factor a adicionar à análise destas ligações que é o tipo de material utilizado nas mesmas. De acordo com as especificações do cliente a CaetanoBus pode utilizar aços St 37 normalizados ou não normalizados, ou ainda St 44 normalizados. As características destes aços são:

St 37 não normalizado (BKM): $\sigma_{ced} = 250 \text{ MPa}$ / $\sigma_{rot} = 390 \text{ MPa}$ / $A=7\%$

St 37 normalizado (NKM): $\sigma_{ced} = 235 \text{ MPa}$ / $\sigma_{rot} = 360 \text{ a } 470 \text{ MPa}$ / $A=23\%$

St 44 normalizado (NKM): $\sigma_{ced} = 275 \text{ MPa}$ / $\sigma_{rot} = 430 \text{ a } 540 \text{ MPa}$ / $A=21\%$

Supõe-se por isso que no caso de se escolher aço normalizado, a utilização da ligação reforçada seja vantajosa, uma vez que, estes materiais têm uma boa capacidade de se deformarem antes da ruptura, sendo que esta capacidade pode ser particularmente importante para anular os problemas referidos da soldadura das chapas aos perfis. Mesmo que se confirme esta suposição, é de todo conveniente verificar se os ganhos efectivos são justificativos da complexidade da ligação utilizando aços normalizados. Para isso pode-se por exemplo comparar, se ao longo da curva força vs. deformação se verifica um diferencial de força exigida superior a 10%.

Anexo I - Tentativa de determinação de propriedades mecânicas de uma chapa equivalente ao conjunto chapa mais cola

O assunto relatado nesta secção tem sido abordado pela empresa embora sem resultados conclusivos. Actualmente a CaetanoBus utiliza o *software* de cálculo StressLab para modelar a estrutura completa do autocarro, e quando se pretende efectuar uma análise local recorre-se ao *software* COSMOS (SolidWorks). A razão é muito simples, e prende-se com o factor tempo de cálculo. Ao passo que o primeiro utiliza elementos de placas e de vigas o segundo utiliza elementos sólidos, o que implica logo à partida diferentes rendimentos no que diz respeito à rapidez de obtenção de resultados. Se a modelação de uma estrutura de um autocarro fosse efectuada em elementos sólidos, sempre que era necessário efectuar uma alteração na mesma, o tempo de espera de resultados tornava o trabalho impraticável, pois a obtenção de resultados poderia estar à distância de um ou vários dias, ao passo que com a modelação através de elementos de placas e de vigas esse mesmo tempo é substancialmente reduzido a alguns minutos.

No entanto este tipo de elementos implica uma dificuldade muito particular, relacionada com a modelação do conjunto painel lateral (que é uma estrutura tubular), chapa de aço para revestimento e cola de adesão. O facto de os perfis constituintes do painel lateral serem modelados por vigas, implica que estes só possuam dois nós, um em cada extremidade. No caso de se modelar a cola por elementos de placa, possuindo 4 nós em cada um dos vértices, não era possível realizar a ligação destes aos perfis do autocarro por motivos evidentes. Por outro lado, mesmo modelando a tira de cola por um elemento de viga, o software não permite a sobreposição de elementos diferentes. Actualmente na modelação da estrutura completa do autocarro, o chapeamento tem sido directamente aplicado sobre o painel como se estivesse soldado a este, conferindo uma rigidez ao autocarro mais elevada do que a que existirá na realidade.

O objectivo deste estudo é, através de um modelo aproximado e simplificado, definir as propriedades de chapas fictícias/hipotéticas rigidamente ligadas à estrutura, tais que o comportamento da estrutura fique tão idêntico quanto possível ao do autocarro constituído pela estrutura reticulada (painéis laterais, ver figura 112), e as chapas reais que lhe são coladas por adesivos estruturais.

Pretende-se então conhecer as propriedades de chapas “equivalentes” a chapas ligadas ao painel com adesivo. O uso da chapa “equivalente” no modelo, permite assim ultrapassar a

difficuldade, acima referida, de não ser possível modelar a cola sobre a estrutura reticulada, no software StressLab.

O processo pensado seguiria os seguintes passos gerais:

- Modelar em SolidWorks o conjunto painel lateral, cola e chapeamento;
- Aplicar uma dada solicitação no painel, e registar os valores de deformação;
- Após a determinação das características mecânicas de uma chapa equivalente ao conjunto cola+chapa, aplicar a mesma no painel;
- Aplicar a mesma solicitação definida anteriormente, e registar os valores de deformação deste conjunto;
- As características mecânicas calculadas da chapa equivalente estarão correctas se as deformações do conjunto Painel+Cola+Chapa, forem iguais as deformações do conjunto Painel+Chapa equivalente.

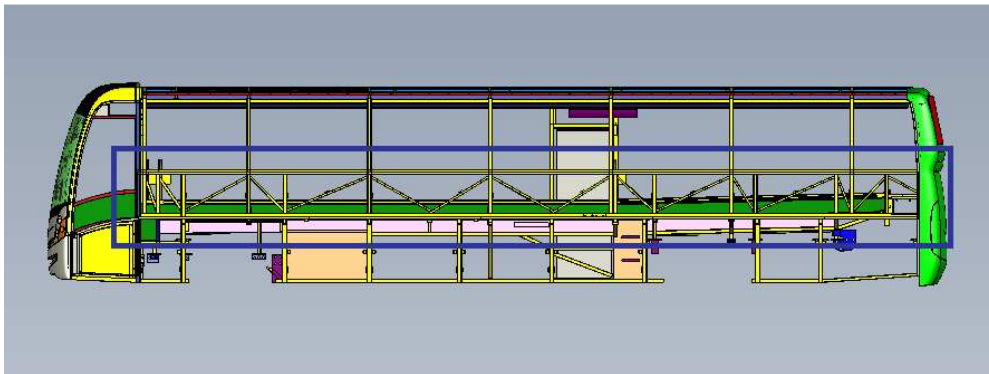


Figura 112 - Painel lateral

a) Modelação do Painel

Pelo facto de ser previsível que ocorram grandes dificuldades na determinação de parâmetros mecânicos de uma estrutura tão complexa como um painel lateral de um autocarro (figura 111), surgiu a ideia de modelar uma representação muito simplificada de um painel lateral, consistindo numa “moldura” feita de perfis de secção rectangular (figura 113). Esta moldura seria constituída por perfis 50x50x3, com uma altura de 700mm (valor igual à altura de um painel lateral), e de comprimento variável.

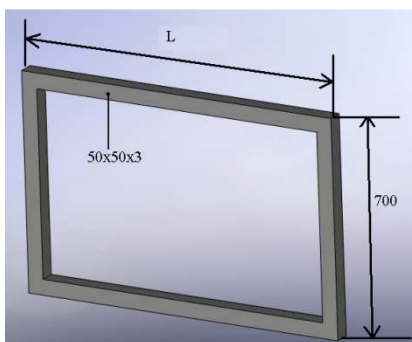


Figura 113 - Representação da estrutura em estudo

Contudo, é expectável que não seja possível determinar o módulo de rigidez transversal de uma estrutura deste tipo, uma vez que este módulo relaciona-se com a distorção do material quando sujeito a um esforço de corte, sabendo que não se trata de uma estrutura homogénea como uma placa, afiguram-se complicações

Por si só já é um motivo para excluir este tipo de estrutura para o efeito pretendido, ficando desta forma explicado o facto de não se utilizar uma representação fidedigna do painel lateral, pois mesmo uma simples “moldura” já acarreta dificuldades intransponíveis.

Abandonada esta solução para o painel pelos motivos expostos, os estudos prosseguem com a chapa como representação do painel (ver figura 114).

A utilização de uma chapa como substituto do painel pode ser considerada válida segundo os seguintes pressupostos:

- Pretende-se determinar as propriedades físicas do conjunto chapa+cola, através da influência que este conjunto tem no painel do autocarro. No entanto, independentemente do corpo ao qual é adicionado o conjunto chapa+cola, a sua influência irá ser sempre a mesma.
- Utilizando uma chapa como corpo de apoio a esse conjunto, poderá ser mais fácil determinar a influencia que esse conjunto produz.

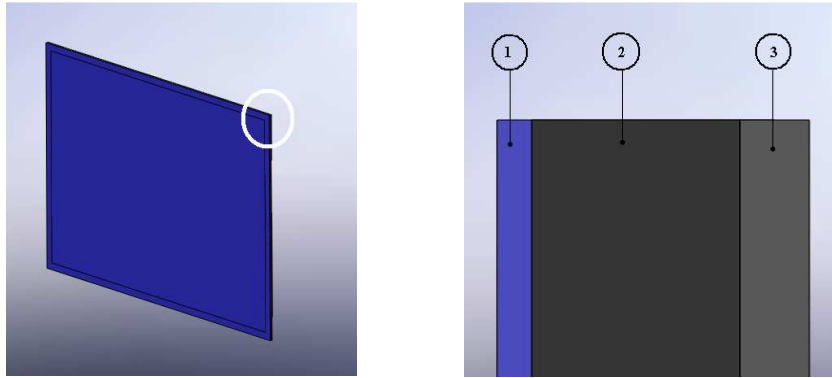


Figura 114 - Modelação do conjunto chapa+cola+painel

Legenda:

- 1) Chapa
- 2) Cola
- 3) Painel

b) Processo para a determinação do módulo de Elasticidade longitudinal da placa equivalente (E_2)

Comecemos por efectuar uma analogia entre o que se passa quando existe o conjunto painel+cola+chapeamento e um conjunto de molas em paralelo, quando se solicita o conjunto a um esforço de tracção (figura 115):

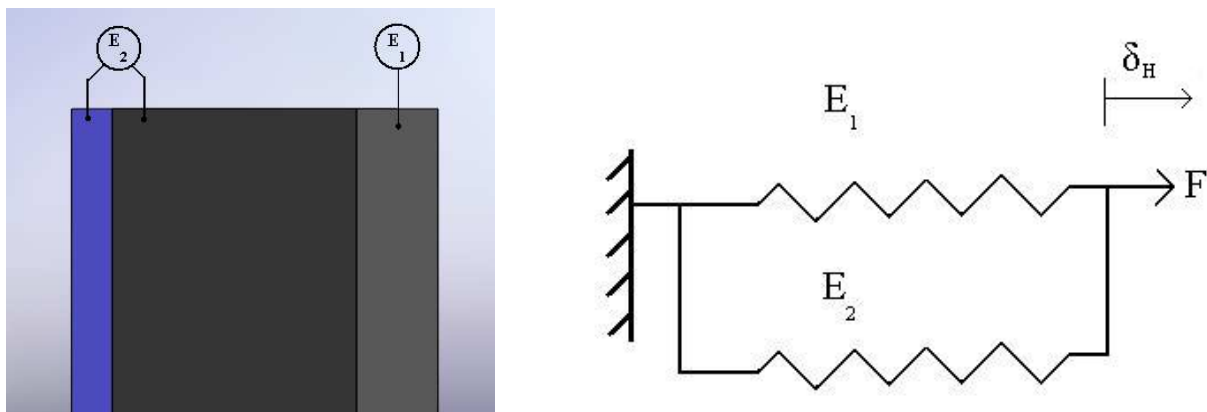


Figura 115 - Aproximação do conjunto chapa+cola+painel a um conjunto de molas em paralelo

Legenda:

- E_1 : Módulo de elasticidade do painel lateral
- E_2 : Módulo de elasticidade Equivalente ao conjunto Cola+Chapa

Nesta modelação, o painel (representado por uma chapa) é encastrado numa das faces e sujeito a uma tensão de tracção na face oposta (ver figura 116). Poder-se-á levantar a questão de se efectivamente o conjunto tem a mesma deformação horizontal (δ_H), pelo facto de o conjunto ter uma composição não homogénea, o que implicaria que as deformações não fossem iguais entre os elementos constituintes (estrutura+cola+chapeamento), implicando a não aplicabilidade desta analogia (ver figura 117)

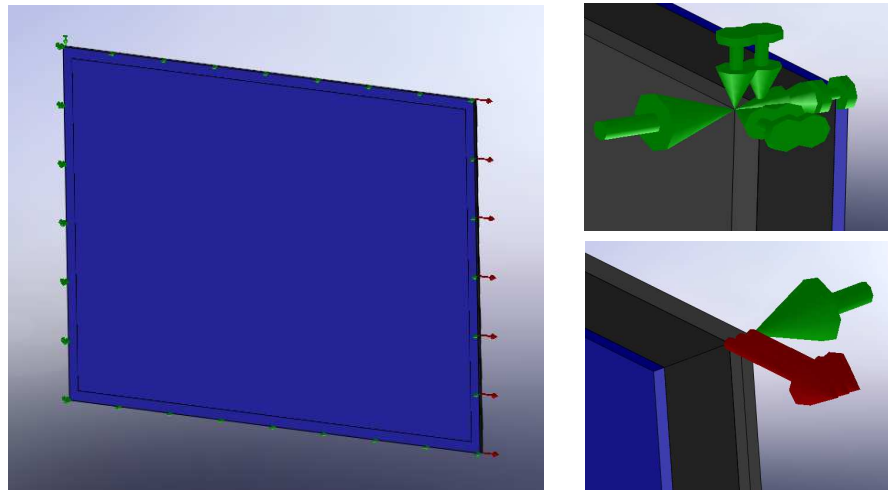


Figura 116 - Modelação do conjunto chapa+cola+painel sujeitos à tracção

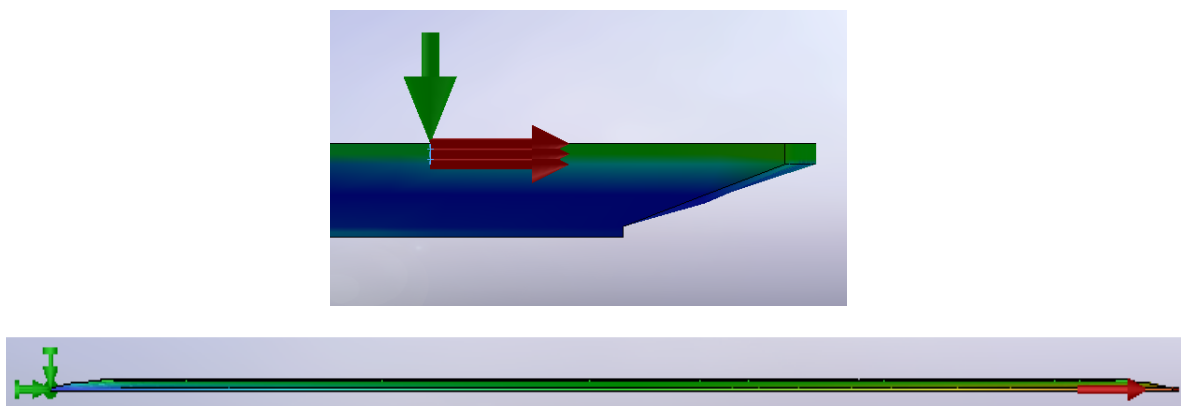


Figura 117 - Representação da deformação da estrutura modelada

Como se constata na figura 117, quando o conjunto é traccionado, existe um gradiente de deformações. Mas este facto é irrelevante para a modelação por um conjunto de molas efectuada, uma vez que se pretende determinar o efeito que o conjunto cola+chapa influi sobre o comportamento do painel, só interessando por isso a deformação do interface painel – cola+chapa, e aí as deformações são iguais. Então para determinar E_2 temos:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = F_1 + F_2 \\ \frac{F_1}{A_1} = E_1 \times \varepsilon \\ \frac{F_2}{A_2} = E_2 \times \varepsilon \Leftrightarrow \frac{F - A_1 \times E_1 \times \varepsilon}{A_2} = E_2 \times \varepsilon \Leftrightarrow E_2 = \frac{F - A_1 \times E_1 \times \varepsilon}{A_2 \times \varepsilon} \end{array} \right.$$

Em que F é a força de solicitação do conjunto, F_1 é a força transmitida ao painel e F_2 a força a que está sujeito o conjunto cola+chapa, A_1 é a área de secção transversal do painel, e A_2 corresponde a área da chapa a colocar no painel como equivalente ao conjunto chapa+cola. A tabela seguinte mostra os valores retirados da deformação horizontal do painel quando a este, está associado o conjunto cola+chapa:

Paralelamente surgiu a ideia de que com um painel com uma rigidez tão elevada como a do aço, os efeitos do conjunto chapa+cola poderiam não ser suficientemente mensuráveis, pelo que se decidiu reduzir a rigidez do mesmo, passando a ter nesta fase as seguintes propriedades mecânicas:

- $E=2100 \text{ MPa}$
- $\nu=0,28$
- $G= 790 \text{ MPa}$

Uma vez criadas as condições necessárias para a realização destes ensaios, segue-se na tabela 6 as deformações verificadas no interface cola-painel:

Tabela 6 - Alongamentos verificados no interface do conjunto chapa+cola+painel

L(mm)	δ_H (mm)
1000	3,72691226E+00
2000	5,54223919E+00
3000	6,29512644E+00
4000	6,62058879E+00
5000	6,78823471E+00
6000	6,91134548E+00
7000	7,00672913E+00
8000	7,10305786E+00
9000	7,20458221E+00
10000	7,29471445E+00

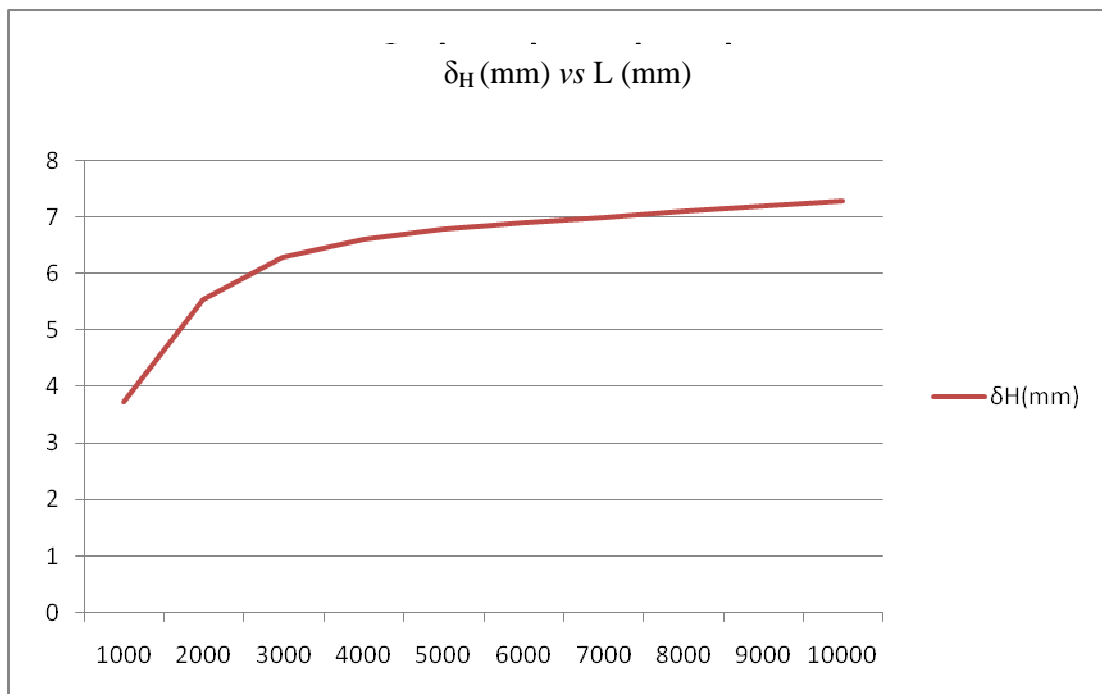


Figura 118 - Variação da deformação com o comprimento

Tabela 7 - Extensão do conjunto chapa+cola+painel

L(mm)	ε
1000	3,72691226E-03
2000	2,77111960E-03
3000	2,09837548E-03
4000	1,65514720E-03
5000	1,35764694E-03
6000	1,15189091E-03
7000	1,00096130E-03
8000	8,87882233E-04
9000	8,00509134E-04
10000	7,29471445E-04

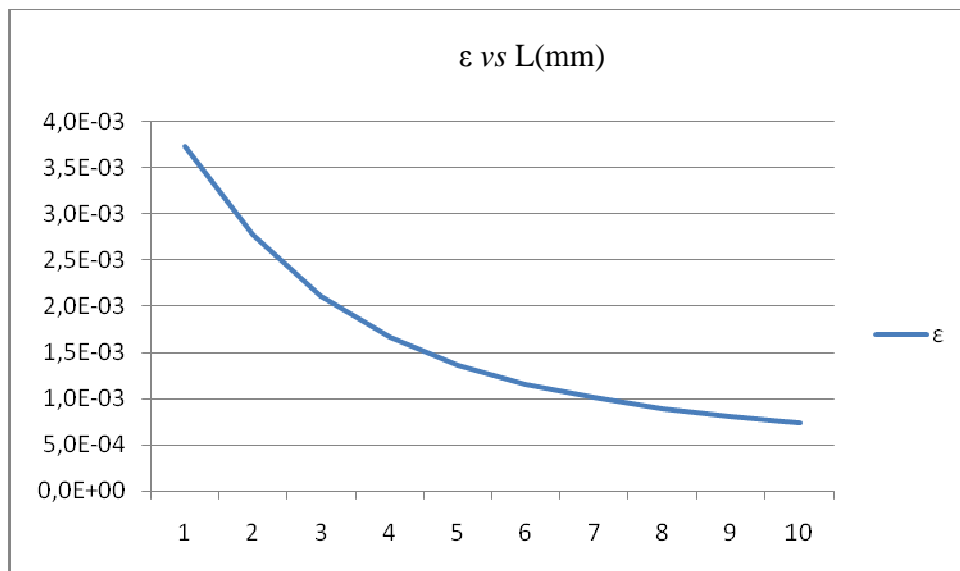


Figura 119 - Variação da extensão com o comprimento

Destas apresentações gráficas (figuras 118 e 119) conclui-se que o material tende a ter um comportamento mais rígido com o aumento do comprimento. Existe uma explicação razoável para o sucedido, que se relaciona com o baixo valor de elasticidade longitudinal da cola $E_{cola}=1,6$ MPa.

Como se sabe num corpo homogéneo o longitudinal, para a mesma tensão e material, varia proporcionalmente com o comprimento, logo para maiores comprimentos esperam-se maiores deformações,

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \Leftrightarrow \delta_H = L \cdot \frac{\sigma}{E}$$

O que possivelmente acontece neste caso, é que para pequenos comprimentos a deformação da chapa é irrelevante face à da cola, devido à diferença considerável de módulos de elasticidade dos dois materiais ($E_{chapeamento}=790$ MPa vs. $E_{cola}=1,6$ MPa). No entanto para grandes comprimentos, o painel sofre maiores deformações, obrigando a cola a deformar-se mais ainda, transmitindo agora mais esforços ao chapeamento obrigando a que este ofereça também alguma resistência ao conjunto, tornando-o mais rígido.

Tendo já posse das deformações, proceder-se-á ao calculo do módulo de Young para cada comprimento de placa, seguindo o raciocínio definido anteriormente (ver tabela 8):

Tabela 8 - Modulo de Young de uma chapa equivalente ao conjunto chapa+cola, em função do comprimento

L(mm)	E ₂ (MPa)
1000	1166
2000	3017
3000	5331
4000	7884
5000	10531
6000	13163
7000	15781
8000	18326
9000	20784
10000	23217

De forma a comprovar a validade destes valores, serão atribuídos os módulos de Young calculados a chapas de diferentes comprimentos que serão posteriormente coladas ao painel. Seguidamente as deformações deste conjunto serão comparadas, com as deformações verificadas no conjunto painel+cola+chapa (tabela 9), se a discrepância for reduzida, os valores encontrados estão correctamente calculados:

Tabela 9 - Comparação de alongamentos entre o conjunto chapa+cola+painel e chapa alterada+ painel

L(mm)	Deformação do painel		
	Cola+Chapa		Erro
	$\delta_H(\text{mm})$	$\delta_H(\text{mm})$	
1000	3,72691226E+00	3,69827557E+00	0,77%
2000	5,54223919E+00	5,52284098E+00	0,35%
3000	6,29512644E+00	6,28052568E+00	0,23%
4000	6,62058879E+00	6,60978365E+00	0,16%
5000	6,78823471E+00	6,78823471E+00	0,00%
6000	6,91134548E+00	6,90534544E+00	0,09%
7000	7,00672913E+00	7,00446934E+00	0,03%
8000	7,10305786E+00	7,09828329E+00	0,07%
9000	7,20458221E+00	7,20177846E+00	0,04%
10000	7,29471445E+00	7,29131889E+00	0,05%

Como é possível observar os resultados são bastante satisfatórios, resta por isso, o cálculo do modulo de elasticidade transversal “G” e consequentemente do Poisson “ ν ”.

Infelizmente, dificuldades de modelação do problema levaram a que se verifique não ser possível recuperar sempre o mesmo valor de propriedades físicas da chapa fictícia equivalente, quando o substrato (painel) a que ela é ligada varia o seu módulo de Young “E”. Esta circunstância sugere que a pista de estratégia de modelação que se tentou prosseguir não permite chegar a resultados suficientemente robustos.

Um dos pressupostos deste trabalho era o de que, independentemente do tipo de material ou do tipo de estrutura que se usava como modelação do painel, o módulo de Young equivalente seria sempre constante, pois estudava-se apenas a influência que o conjunto cola+chapa tinham num objecto arbitrário. Verificou-se assim que infelizmente este pressuposto não foi verificado.

No seguimento desta evidência, perfilam-se as seguintes considerações seguintes sobre o tópico deste Anexo:

- O painel lateral do autocarro é uma estrutura reticulada complexa; pareceria ainda assim aceitável, como modelo simplificado, usar um módulo constituído por uma estrutura tubular soldada configurando uma “moldura” rectangular;
- A substituição deste painel por uma placa homogénea e isotrópica leva a que a ideia inicial de examinar uma estrutura de painel, ou parte dessa estrutura esteja já prejudicada;
- A atribuição à placa referida acima, de valores de E e G arbitrários (mas relacionados com os valores típicos de aços) introduz mais uma arbitrariedade;
- Face às dificuldades encontradas, parece que a solução do problema que a empresa gostaria de resolver, que consiste em facilitar a modelação simplificada mas realista em elementos finitos, recorrendo ao uso de chapas “equivalentes”, tenha de ser encontrada de outra maneira. Sugere-se que seja obtida uma calibração aproximada do efeito do chapeamento realizando um modelo 3D do autocarro completo (painel + chapeamento + cola) e outro da estrutura tubular apenas. Essa modificação da rigidez torsional e à flexão poderá posteriormente servir de ordem de grandeza para modelos subsequentes.

c) Conclusão/Resumo

Por questões de rapidez de cálculo, a empresa optou por modelar os autocarros em elementos finitos de vigas para os perfis metálicos estruturais do chassis, e elementos de casca/placa para vidros e chapeamento. Esta opção traz uma vantagem incontornável, que se prende como foi referido, no processamento dos dados relativamente a outros tipos de elementos, como elementos sólidos por exemplo. Num processo tão iterativo, que é a definição de um chassis de um autocarro, é importante a rapidez de cálculo para se validarem rapidamente as soluções preconizadas.

No entanto existe um aspecto muito particular que ainda não foi solucionado que se prende com a utilização deste tipo de elementos. Actualmente na modelação de um autocarro, a chapa é “colada” directamente no painel do autocarro, fornecendo uma rigidez mais elevada do que seria desejável pois não é incluído o elemento cola. Com este tipo de elementos, não é possível fazer a ligação entre a tira de cola e os restantes intervenientes, uma vez que, sendo a cola modelada por um elemento tipo placa, possui 4 nós um em cada vértice, assim torna-se impossível fazer a ligação nodal entre a cola, e os perfis metálicos do painel lateral que apenas possuem 2 nós por perfil, um em cada extremidade. Para solucionar esta situação, surgiu a ideia de definir uma chapa com determinadas características mecânicas, a qual fosse capaz de simular o mesmo efeito que o conjunto chapa+cola têm sobre o painel lateral.

Para evitar a variabilidade de configurações possíveis que os painéis laterais podem tomar, optou-se por simplificar essa mesma estrutura, substituindo-a por uma chapa de comprimento variável e de altura igual ao painel actualmente existente nos autocarros fabricados. Esta simplificação é válida, pois com este estudo apenas se pretende estudar o efeito da Cola+Chapa independentemente do tipo de estrutura no qual esse conjunto é colocado.

Devido à não homogeneidade do conjunto Chapa+Cola, não foi possível definir características mecânicas de uma chapa equivalente a esse conjunto, as quais permitissem que simultaneamente que o *set* “Painel+Chapa alterada” obtivesse as mesmas deformações longitudinais e transversais do conjunto “real” isto é, Painel+Cola+Chapa, quando sujeitos à esforços de tracção e de flexão/corte respectivamente.

Constatou-se através da observação de dados de estudos feitos pela empresa, que os esforços longitudinais do autocarro, nas mais diversas situações de solicitação do mesmo, não eram relevantes face as solicitações provocadas pela flexão do chassis. Deste modo, o estudo prosseguiu tendo como objectivo exclusivo obter comportamentos coerentes apenas quando se sujeita o painel a flexão.

Na parte final deste trabalho concluiu-se que, ao contrário do teoricamente esperado, as propriedades físicas encontradas para a chapa fictícia variavam com a definição das propriedades físicas inviabilizando qualquer conclusão que adviesse deste estudo. Sugeriu-se desta forma, modelar a estrutura de um autocarro em elementos sólidos, e verificar a ordem de grandeza da alteração de rigidez que a introdução do chapeamento produz num autocarro, e com isso iterar para modelos subsequentes.

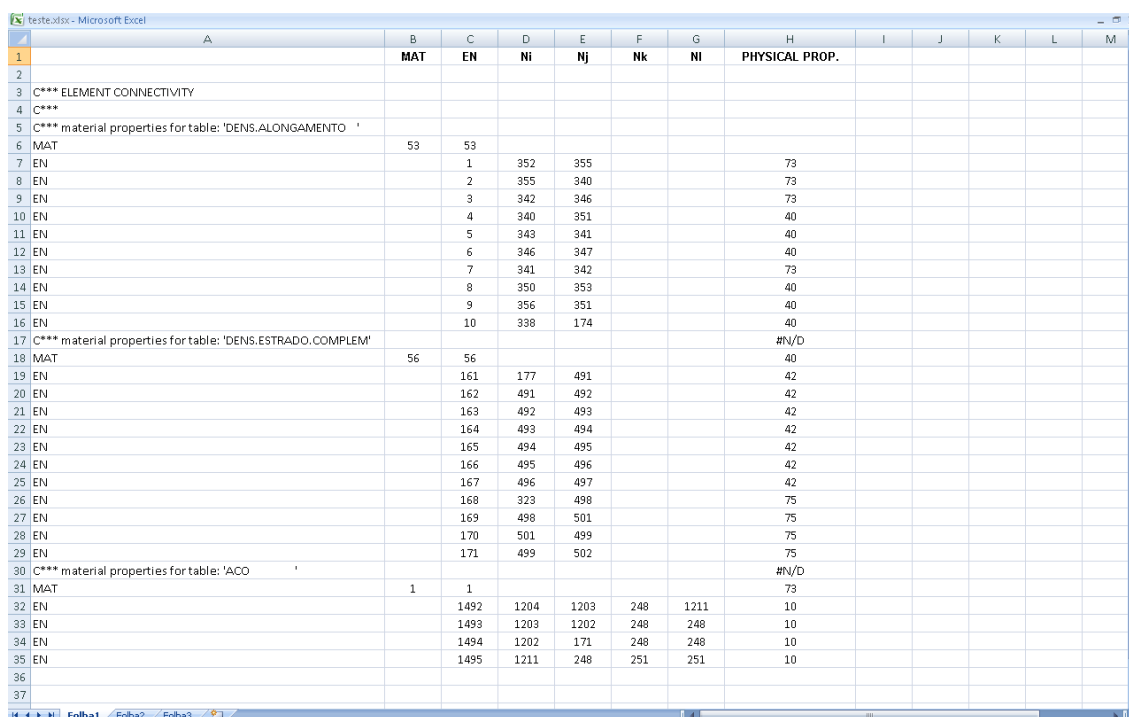
Anexo II – Realização de macros em EXCEL

Neste anexo, estão presentes alguns trabalhos de programação em VisualBasic, que embora não estejam relacionados com os temas abordados, fazem parte da actividade realizada dentro da empresa.

Apesar de os programas efectuados não serem de complexidade elevada, no que diz respeito ao código utilizado, constituem um poderoso auxílio no tratamento de informação, uma vez que automaticamente executam tarefas, que de outra forma seriam morosas e com um grande risco de erro por parte dos utilizadores.

Programa I – Conversão de dados entre programas

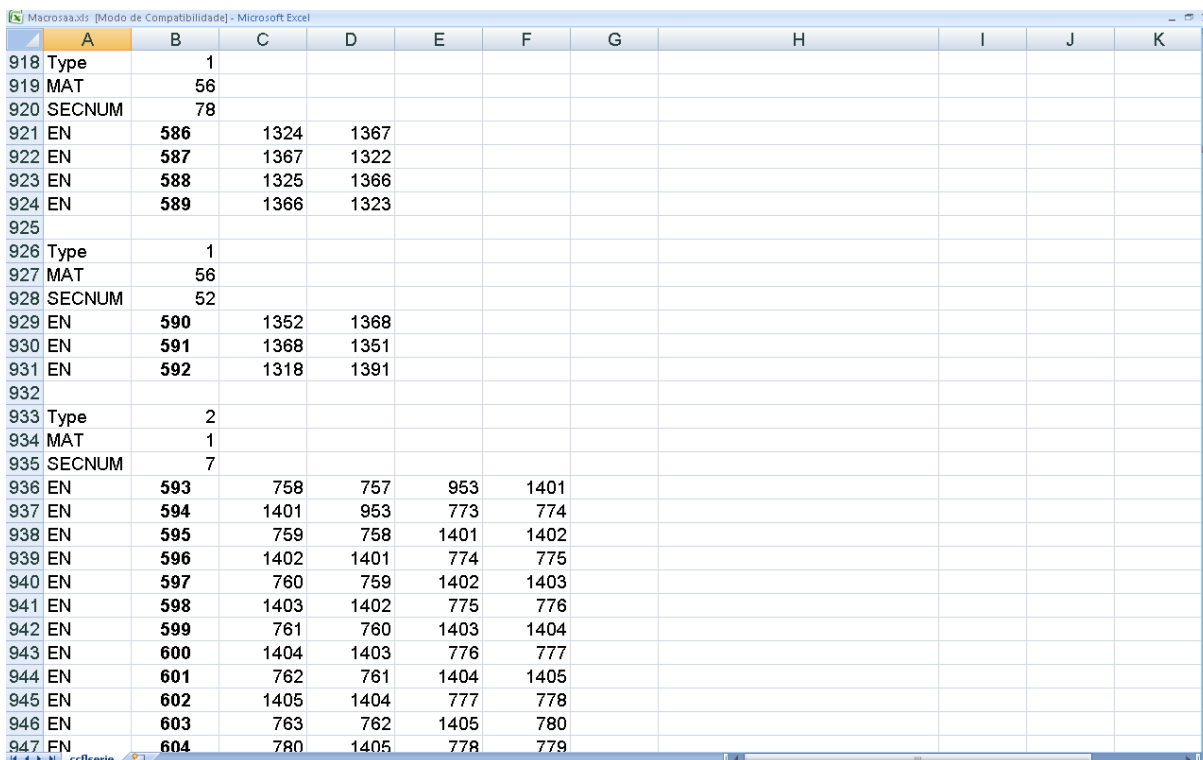
O programa aqui exposto permite a conversão de dados do StressLab para o ANSYS. A necessidade surgiu, uma vez que a empresa procedeu à substituição das licenças do StressLab para o ANSYS. Assim era necessário transferir todas as modelações do autocarro efectuadas de um software para outro. No entanto não existe a possibilidade de exportar directamente ficheiros de dados, contendo a informação de modelação. Desta forma, surgiu a necessidade de efectuar uma reformulação destes ficheiros, para que o ANSYS os pudesse ler.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
		MAT	EN	NI	Nj	Nk	NI	PHYSICAL PROP.					
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													

Figura 120 - Dados fornecidos pelo StressLab

Na figura 120 está apresentado uma amostra do tipo de dados fornecido pelo StressLab. A coluna B, refere-se a um código de material, o qual designa o seu tipo: alumínio, aço, etc., a coluna C identifica o número de cada elemento, e da coluna D à coluna G estão presentes a numeração dos nós do respectivo elemento (note-se que existem linhas que possuem 2 nós outras têm 4, isto deve-se ao facto de haver elementos de vigas e de cascas respectivamente). Após executar o programa o resultado final é o seguinte (ver figura 121):



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
918	Type	1									
919	MAT	56									
920	SECNUM	78									
921	EN	586	1324	1367							
922	EN	587	1367	1322							
923	EN	588	1325	1366							
924	EN	589	1366	1323							
925											
926	Type	1									
927	MAT	56									
928	SECNUM	52									
929	EN	590	1352	1368							
930	EN	591	1368	1351							
931	EN	592	1318	1391							
932											
933	Type	2									
934	MAT	1									
935	SECNUM	7									
936	EN	593	758	757	953	1401					
937	EN	594	1401	953	773	774					
938	EN	595	759	758	1401	1402					
939	EN	596	1402	1401	774	775					
940	EN	597	760	759	1402	1403					
941	EN	598	1403	1402	775	776					
942	EN	599	761	760	1403	1404					
943	EN	600	1404	1403	776	777					
944	EN	601	762	761	1404	1405					
945	EN	602	1405	1404	777	778					
946	EN	603	763	762	1405	780					
947	FN	604	780	1405	778	779					

Figura 121 - Resultado da aplicação da macro

Portanto, o que o programa faz é transformar a apresentação dos dados, resultando no que se observa na figura 121. A macro organiza por grupos, os elementos que possuam as mesmas propriedades físicas (Coluna H na figura 120), define o tipo de elementos quanto à quantidade de nós (Type 1 para 2 nós, e Type 2 para 4 nós, linha 918 na figura 121), o material e a numeração dos nós. Com esta apresentação, o ANSYS é capaz de efectuar a leitura dos dados.

Código correspondente á macro:

Sub prog()

file1 = ThisWorkbook.Name

inicio:

Dim lngCount As Long

With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)

.AllowMultiSelect = False

.InitialFileName = "d:*.*)"

If .Show <= -1 Then

For lngCount = 1 To .SelectedItems.Count

file2 = .SelectedItems(lngCount)

Next lngCount

Else

GoTo fim

End If

End With

Workbooks.OpenText Filename:=file2

Range("c7").Select

Linha = 7

n = 1

y = 1

file2 = ActiveWorkbook.Name

'cell = Range(A, linha).Value

Do While IsEmpty(Range("C" & Trim(Str(Linha)))) = False

mat = Range("d" & Trim(Str(Linha))).Value

' secnum = Range("j" & Trim(Str(Linha + 1))).Value

Do While Range("C" & Trim(Str(Linha + 1))).Value = "EN"

' x = IsEmpty(Range("C" & Trim(Str(linha))))

' mat = Range("d" & Trim(Str(Linha))).Value

```
secnum = Range("j" & Trim(Str(Linha + 1))).Value

Do While secnum = Range("J" & Trim(Str(Linha + 1))).Value

If Range("e" & Trim(Str(Linha + n))) = "" Then

    n = n - 1

Exit Do

End If

If Range("J" & Trim(Str(Linha + n))) = secnum Then

    n = n + 1

Else

    n = n - 1

Exit Do

End If

If IsEmpty(Range("C" & Trim(Str(Linha + n)))) Then

    n = n - 1

Exit Do

End If

If Range("H" & Trim(Str(Linha + n - 2))) = "" Then

    Tipo = 1

Else

    Tipo = 2

End If

Loop

Rows(Trim(Str(Linha + 1)) & ":" & Trim(Str(Linha + n))).Select

Selection.Copy

Windows("" & file1).Activate

Range("C" & Trim(Str(y))).FormulaR1C1 = "Type"

Range("E" & Trim(Str(y))).FormulaR1C1 = Tipo

Range("C" & Trim(Str(y + 1))).FormulaR1C1 = "MAT"

Range("E" & Trim(Str(y + 1))).FormulaR1C1 = mat
```

```
Range("C" & Trim(Str(y + 2))).FormulaR1C1 = "SECNUM"
Range("E" & Trim(Str(y + 2))).FormulaR1C1 = secnum
Range("A" & Trim(Str(y + 3))).Select
ActiveSheet.Paste
Windows("" & file2).Activate
Linha = Linha + n
y = y + n + 4
n = 1
Loop
Linha = Linha + 2
Loop
Windows("" & file1).Activate
Columns("A:B").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Columns("B:B").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Columns("G").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Range("A1").Select
Dim Msg, Style, Title, Help, Ctxt, Response, MyString
Msg = "Terminei. Agora vamos gravar o ficheiro:" & file1
Style = vbQuestion + vbDefaultButton2 ' Define os botões
Help = "teste" ' Define Help file.
Ctxt = 1000 ' Define topic
Response = MsgBox(Msg, Style, Title, Help, Ctxt)
Windows("" & file1).Activate
A = ActiveWindow.Caption
Set NewBook = Workbooks(ActiveWindow.Caption)
Do
```

```
fname = Application.GetSaveAsFilename(fileFilter:="Livro do Microsoft EXCEL (*.xls), *.xls")

Loop Until fname <> False

NewBook.SaveAs Filename:=fname

file = ActiveWorkbook.Name

Workbooks(file2).Close savechanges:=False

'Dim Msg1, Style, Title, Help, Ctxt, Response, MyString

Msg = "Foi criado o seguinte ficheiro: " & fname

Style = vbQuestion + vbDefaultButton2 ' Define os botões

Help = "teste" ' Define Help file.

Ctxt = 1000 ' Define topic

Response = MsgBox(Msg, Style, Title, Help, Ctxt)

fim:

End Sub
```

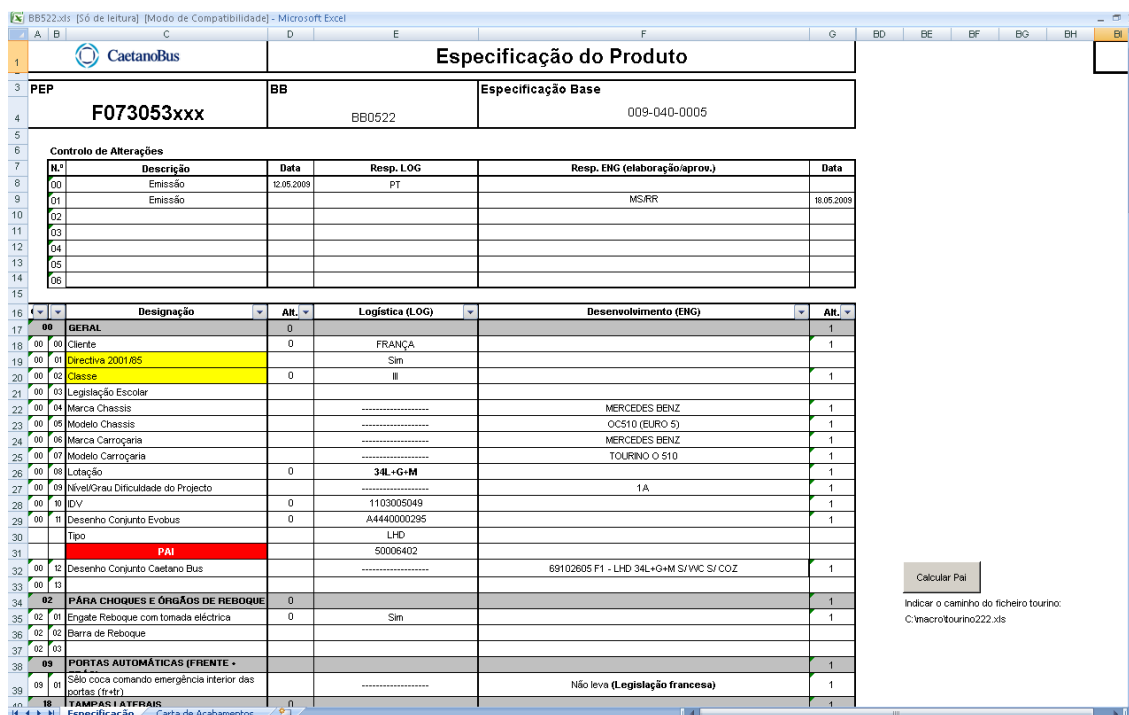
Programa II – Aplicações de software no âmbito do departamento de logística

Como o título sugere, foram desenvolvidas pelo autor pequenas aplicações que se destinam a facilitar a execução de determinadas tarefas dos colaboradores inseridos no referido departamento. Foram criadas duas macros, com esta finalidade:

Determinação automática do código de um veículo (PAI)

Para melhor descrever um produto, neste caso um autocarro, existem tabelas com informação designadas por especificação do produto (ver figura 122). Neste tipo de tabelas podem ser encontrados todo o tipo de informações, definindo por completo um veículo permitindo à empresa possuir uma base de dados sobre as características dos seus produtos.

Para cada modelo existe uma tabela individual, devido à especificidade de cada modelo. As tabelas são realizadas pelo departamento de engenharia (ENG), e são preenchidas pelo departamento comercial através das características pretendidas pelo cliente.



Especificação do Produto					
PEP		BB		Especificação Base	
F073053xxx		BB0522		009-040-0005	
Controlo de Alterações					
N.º	Descrição	Data	Resp. LOG	Resp. ENG (elaboração/aprov.)	Data
00	Emissão	12.06.2009	PT		
01	Emissão			MSRR	16.05.2009
02					
03					
04					
05					
06					
Designação					
00	GERAL	0			1
00	Ciente	0	FRANÇA		1
00	Directiva 2001/85		Sim		
00	Classe	0	II		1
00	Legislação Escolar				
00	Marca Chassis			MERCEDES BENZ	1
00	Modelo Chassis			OC510 (EURO 5)	1
00	Marca Carroçaria			MERCEDES BENZ	1
00	Modelo Carroçaria			TOURINO O 510	1
00	Lotação	0	34L+G+M		1
00	Nível/Grau Dificuldade do Projecto			1A	1
00	IDV	0	1103005049		1
00	Desenho Conjunto Evolbus	0	A4440000295		1
00	Tipo		LHD		
00	PAI		50006402		
00	Desenho Conjunto Caetano Bus			69102605 F1 - LHD 34L+O+M S/VIC S/ COZ	1
00					
PARA CHOQUES E ÓRGÃOS DE REBOQUE					
00	Engate Reboque com tomada eléctrica	0	Sim		1
00	Barra de Reboque				
00					
PORTAS AUTOMÁTICAS (FRENTE -					
00	São coca comando emergência interior das portas (fratr)			Não leva (Legislação francesa)	1
00					
TAMPAS laterais					
00		0			1

Figura 122 - Especificação do produto - TOURINO

De acordo com determinados parâmetros de especificação do produto, existe um código de autocarro (PAI), identificando inequivocamente o veículo em questão. Note-se no entanto, que este código não distingue o modelo, ou seja um determinado modelo (Tourino p.e.) pode ter vários códigos PAI, isto porque basta ter determinadas especificação de produto diferentes, para alterar o código PAI.

Até aqui este código de 8 caracteres era introduzido manualmente, através da consulta de uma tabela adicional (ver tabela 19) que indica o código do veículo correspondente a uma determinada combinação de especificação do produto.

Tabela 10 - Correspondência entre campos da especificação do produto - PAI

Tipo	Classe	Directiva 2001/85	WC	Cozinha traseira	PAI
LHD	III	sim	não	não	50006401
	III	sim	sim	não	50006402
	III	sim	sim	sim	50006403
	II+III	sim	não	não	50006404
	II+III	sim	sim	não	50006405
	II+III	sim	sim	sim	50006406
	II+III	não	não	não	50006407
	II+III	não	sim	não	50006408
	II+III	não	sim	sim	50006409
RHD	III	sim	não	não	50006303
	III	sim	sim	não	50006302
	III	sim	sim	sim	50006301

Nota: Como se pode observar, nem todas as especificações, interferem na atribuição de um PAI específico. Apenas os parâmetros que alterem substancialmente a estrutura do veículo são susceptíveis de alterar este código.

É neste contexto que surge esta pequena aplicação que permite determinar o código do autocarro sem a intervenção do utilizador. A macro recolhe a informação de alguns campos necessários a identificação do PAI na folha de EXCEL correspondente à especificação do produto (Tipo; Classe; Directiva 2001/85; WC; Cozinha traseira), compara com esses dados com os presentes na tabela 6 e devolve o PAI correspondente. Finalmente resta referir que o programa funciona à prova de erro, isto porque se o utilizador escolher uma combinação de parâmetros à qual não corresponda nenhum código PAI, o programa dará uma mensagem de erro.

Exemplo de funcionamento:

O utilizador faz a seguinte combinação de parâmetros:

- Tipo : RHD (ver figura 124)
- Classe : III (ver figura 123)
- Directiva 2001/85: sim (ver figura 123)
- WC : não (ver figura 125)
- Cozinha traseira: não (ver figura 126)

	A	B	C	D	E
13		05			
14		06			
15					
16	GC	It	Designação	Alt.	Logística (LOG)
17	00		GERAL	0	
18	00	00	Cliente	0	FRANÇA
19	00	01	Directiva 2001/85		Sim
20	00	02	Classe	0	III
21	00	03	Legislação Escolar		
22	00	04	Marca Chassis		-----

Figura 123 - Campos “Directiva 2001/85” e “Classe”

	A	B	C	D	E
25	00	07	Modelo Carroçaria		-----
26	00	08	Lotação	0	34L+G+M
27	00	09	Nível/Grau Dificuldade do Projecto		-----
28	00	10	IDV	0	1103005049
29	00	11	Desenho Conjunto Evobus	0	A4440000295
30			Tipo		LHD
31			PAI		50006402
32	00	12	Desenho Conjunto Caetano Bus		-----
33	00	13			
34	02		PÁRA CHOQUES E ÓRGÃOS DE REBOQUE	0	

Figura 124 - Campo “Tipo”

	A	B	C	D	E
64	37	01	Cortinas	0	Sim
65	37	02			
66	40		APOIOS E ANTEPAROS	0	
67	40	01	Mesas rebatíveis com porta copos nos tapa-pernas	0	Sim
68	40	02			
69	41		WC		
70	41	01	WC na traseira do lado direito		Sim
71	41	02			
72	46		COMPLEMENTOS DO CHASSIS	0	
73	46	01	Mecanismo subir/baixar carroçaria	0	Sim

Figura 125 - Campo “WC”

	A	B	C	D	E
126	80	03	Função Hazard		
127	80	04			
128	82		EQUIPAMENTO ESPECIAL	0	
129	82	01	Suporte Caixa Skis	0	Não
130	82	02	Caixa Skis		
131	82	03	Geleira	0	Sim
132	82	04	Cozinha na Traseira		
133	82	05	Cozinha junto a porta trás		Não
134	82	06	Sensores de incêndio na bagageira		
135	82	07	Mesas Skat		

Figura 126 - Campo “Cozinha traseira”

O código PAI correspondente a esta combinação é 50006402. Depois de o utilizador definir o caminho do ficheiro correspondente à tabela, pressiona o Botão “Calcular” (ver figura 127) e o PAI é então apresentado na célula correspondente.

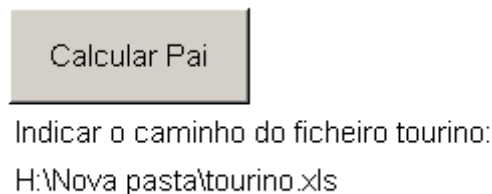


Figura 127 - Botão de accionamento da macro, com o respectivo caminho do ficheiro de pesquisa

Caso a combinação de campos seja válida o output do programa será o PAI correspondente (ver figura 128), caso contrário o programa mostrará uma mensagem de erro específica ao problema encontrado.

	B	C	D	E
25	07	Modelo Carroçaria		-----
26	08	Lotação	0	34L+G+M
27	09	Nível/Grau Dificuldade do Projecto		-----
28	10	IDV	0	1103005049
29	11	Desenho Conjunto Evobus	0	A4440000295
30		Tipo		LHD
31		PAI		50006402
32	12	Desenho Conjunto Caetano Bus		-----
33	13			
34	2	PÁRA CHOQUES E ÓRGÃOS DE REBOQUE	0	
35	01	Engate Reboque com tomada eléctrica	0	Sim
36	02	Barra de Reboque		

Figura 128 - Código PAI, correspondente à combinação de campos introduzida

Por exemplo, se o utilizador inserir LHD no campo Tipo, e simultaneamente seleccionar a classe II+III e indicar que não possui a directiva 2001/85 o output do programa será o que é visível na figura 129.

Cliente	0	FRANÇA	
Directiva 2001/85		Não	
Classe	0	III	
Legislação Escolar			
Marca Chassis		-----	
Modelo Chassis		-----	
Marca Carroçaria		-----	
Modelo Carroçaria		-----	
Lotação	0	34L+G+M	
Nível/Grau Dificuldade do Projecto		-----	
IDV	0	1103005049	
Desenho Conjunto Evobus	0	A4440000295	
Tipo		LHD	
PAI		50006402	

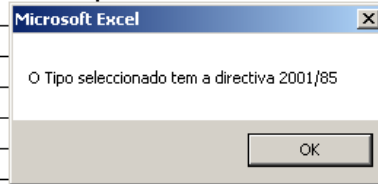


Figura 129 - Demonstração de erro

Assim, o código de programação correspondente ao despoletar de todo o processo quando se activa o programa é o seguinte:

```

Sub Botão308_Clique()
Set myworkbook = ActiveWorkbook.Worksheets
nome = ThisWorkbook.Name
caminho = getcurdir & nome
Dim path As String
path = Range("BE35").Value
Dim directiva As String
directiva = Range("e19")
Dim classe As String
classe = Range("e20")
Dim tipo As String
tipo = Range("E30")
If tipo <> "RHD" And tipo <> "LHD" Then
    Do While tipo <> "RHD" Or tipo <> "LHD"
        MsgBox "Valor incorrecto no campo Tipo"
    Exit Sub
Loop

```

End If

If tipo = "LHD" And directiva = "" And classe = "III" Then

Do While tipo = "LHD" And directiva = "" And classe = "III"

MsgBox "O Tipo seleccionado tem a directiva 2001/85"

Exit Sub

Loop

End If

Dim wc As String

wc = Range("e70")

Dim coz As String

coz = Range("e133")

If tipo = "RHD" And classe <> "III" Then

Do While tipo = "RHD" And classe <> "III"

MsgBox "Classe inexistente para o Tipo seleccionado"

Exit Sub

Loop

End If

If tipo = "LHD" And classe <> "III" And classe <> "II+III" Then

Do While tipo = "LHD" And classe <> "III" And classe <> "II+III"

MsgBox "Classe inexistente para o Tipo seleccionado"

Exit Sub

Loop

End If

Application.ScreenUpdating = False

Set myworkbook = Workbooks.Open(Filename:=path)

contador = 0

linha = 1

Do While (Range("A" & linha)) <> tipo

linha = linha + 1

Loop

If (Range("B" & linha)) <> classe Then

Do While ((Range("B" & linha)) <> classe) And ((Range("B" & linha)) <> "")

linha = linha + 1

contador = contador + 1

Loop

If Range("B" & linha - 1) <> classe And Range("B" & linha) = "" Then

linha = linha - (contador)

End If

End If

If (Range("C" & linha)) <> directiva Then

Do While (Range("C" & linha)) <> directiva

linha = linha + 1

Loop

End If

If (Range("D" & linha)) <> wc Then

Do While (Range("D" & linha)) <> wc

linha = linha + 1

Loop

End If

If (Range("E" & linha)) <> coz Then

Do While (Range("E" & linha)) <> coz

linha = linha + 1

Loop

End If

pai = Range("F" & linha)

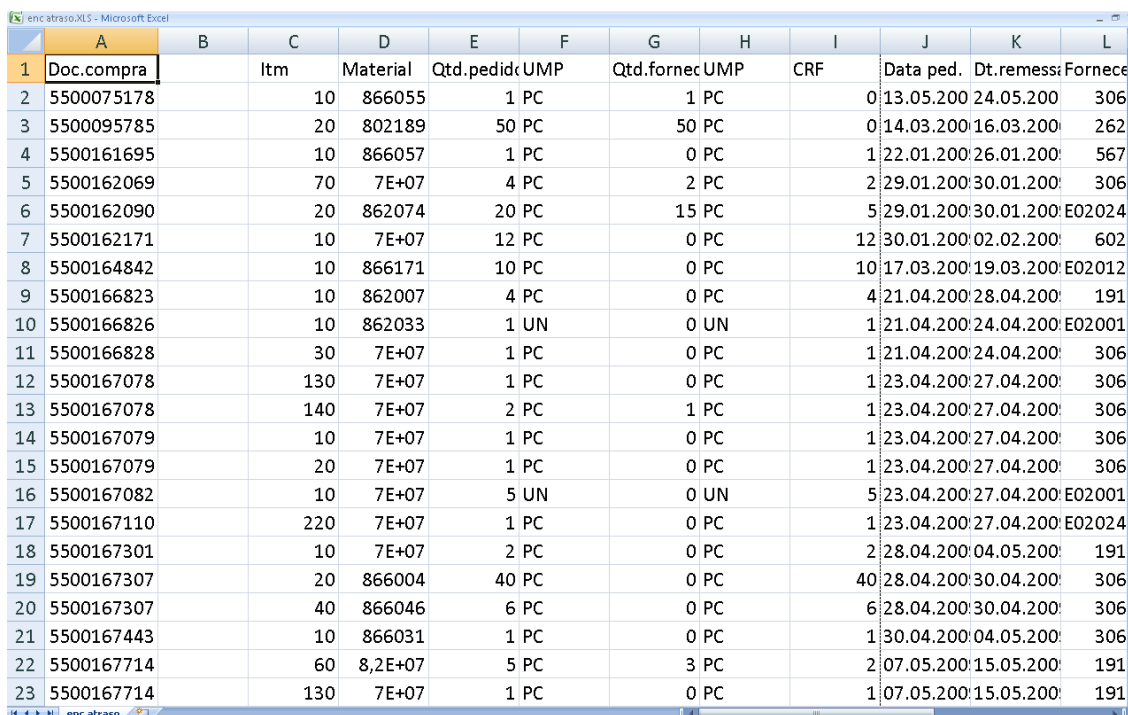
ActiveWorkbook.Close False

Range("e31") = pai

EndSub

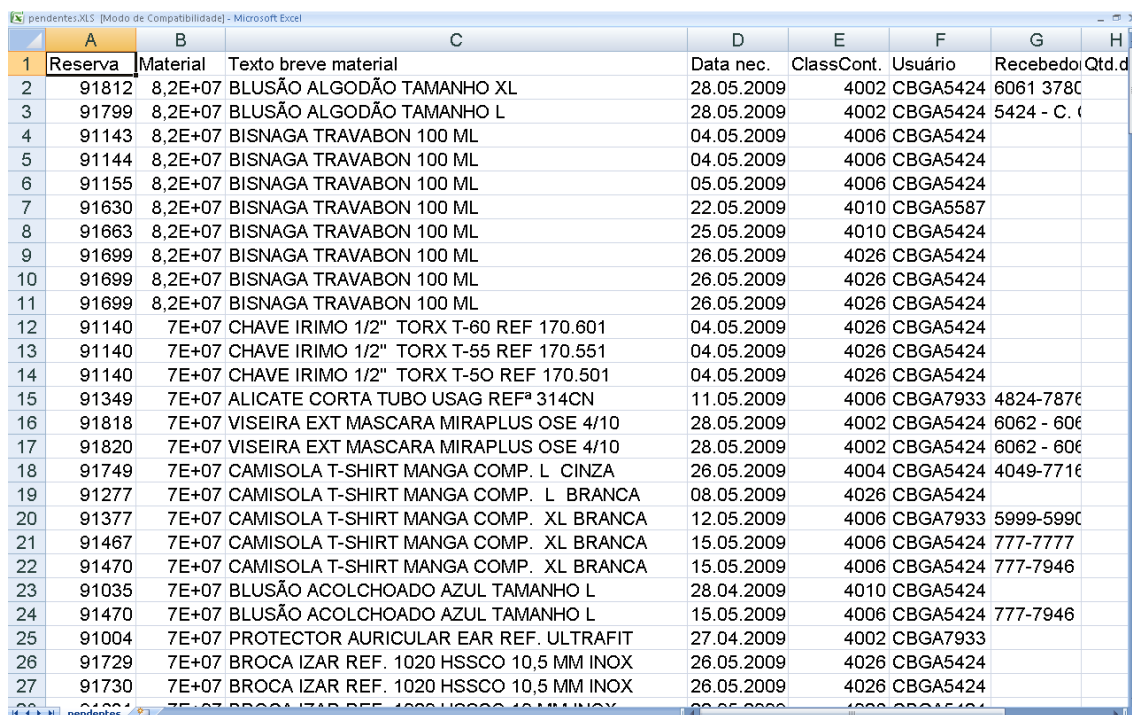
Programa III – Gestão de encomendas

No âmbito da gestão de stock, o programa informático da empresa cria 2 ficheiros que se inter-relacionam, “enc atraso.xls” e “pendentes.xls”. O primeiro fornece simultaneamente uma lista de materiais que já foram encomendados com atraso na entrega, como também visualizar se existe algum défice na relação quantidade fornecida/pedida (figura 130), o segundo corresponde a uma listagem de produtos presentes no primeiro ficheiro, nos quais exista um défice entre quantidade pedida e quantidade fornecida (figura 131).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Doc.compra		Itm	Material	Qtdd.pedido	UMP	Qtdd.fornec	UMP	CRF	Data ped.	Dt.remessa	Fornecida
2	5500075178		10	866055	1	PC	1	PC		01.03.200	24.05.200	306
3	5500095785		20	802189	50	PC	50	PC		01.03.200	16.03.200	262
4	5500161695		10	866057	1	PC	0	PC		12.01.200	26.01.200	567
5	5500162069		70	7E+07	4	PC	2	PC		29.01.200	30.01.200	306
6	5500162090		20	862074	20	PC	15	PC		29.01.200	30.01.200	E02024
7	5500162171		10	7E+07	12	PC	0	PC		12.03.200	02.02.200	602
8	5500164842		10	866171	10	PC	0	PC		10.03.200	19.03.200	E02012
9	5500166823		10	862007	4	PC	0	PC		4.04.200	28.04.200	191
10	5500166826		10	862033	1	UN	0	UN		1.04.200	24.04.200	E02001
11	5500166828		30	7E+07	1	PC	0	PC		1.04.200	24.04.200	306
12	5500167078		130	7E+07	1	PC	0	PC		1.04.200	27.04.200	306
13	5500167078		140	7E+07	2	PC	1	PC		1.04.200	27.04.200	306
14	5500167079		10	7E+07	1	PC	0	PC		1.04.200	27.04.200	306
15	5500167079		20	7E+07	1	PC	0	PC		1.04.200	27.04.200	306
16	5500167082		10	7E+07	5	UN	0	UN		5.04.200	27.04.200	E02001
17	5500167110		220	7E+07	1	PC	0	PC		1.04.200	27.04.200	E02024
18	5500167301		10	7E+07	2	PC	0	PC		2.04.200	04.05.200	191
19	5500167307		20	866004	40	PC	0	PC		4.04.200	30.04.200	306
20	5500167307		40	866046	6	PC	0	PC		6.04.200	30.04.200	306
21	5500167443		10	866031	1	PC	0	PC		1.05.200	04.05.200	306
22	5500167714		60	8,2E+07	5	PC	3	PC		2.05.200	15.05.200	191
23	5500167714		130	7E+07	1	PC	0	PC		1.05.200	15.05.200	191

Figura 130 - Ficheiro “enc atraso.xls”



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Reserva	Material	Texto breve material	Data nec.	ClassCont.	Usuário	Recebido	Qtd.d
2	91812	8,2E+07	BLUSÃO ALGODÃO TAMANHO XL	28.05.2009	4002	CBGA5424	6061 3780	
3	91799	8,2E+07	BLUSÃO ALGODÃO TAMANHO L	28.05.2009	4002	CBGA5424	5424 - C.	
4	91143	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	04.05.2009	4006	CBGA5424		
5	91144	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	04.05.2009	4006	CBGA5424		
6	91155	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	05.05.2009	4006	CBGA5424		
7	91630	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	22.05.2009	4010	CBGA5587		
8	91663	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	25.05.2009	4010	CBGA5424		
9	91699	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	26.05.2009	4026	CBGA5424		
10	91699	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	26.05.2009	4026	CBGA5424		
11	91699	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	26.05.2009	4026	CBGA5424		
12	91140	7E+07	CHAVE IRIMO 1/2" TORX T-60 REF 170.601	04.05.2009	4026	CBGA5424		
13	91140	7E+07	CHAVE IRIMO 1/2" TORX T-55 REF 170.551	04.05.2009	4026	CBGA5424		
14	91140	7E+07	CHAVE IRIMO 1/2" TORX T-50 REF 170.501	04.05.2009	4026	CBGA5424		
15	91349	7E+07	ALICATE CORTA TUBO USAG REFª 314CN	11.05.2009	4006	CBGA7933	4824-7876	
16	91818	7E+07	VISEIRA EXT MASCARA MIRAPLUS OSE 4/10	28.05.2009	4002	CBGA5424	6062 - 606	
17	91820	7E+07	VISEIRA EXT MASCARA MIRAPLUS OSE 4/10	28.05.2009	4002	CBGA5424	6062 - 606	
18	91749	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. L CINZA	26.05.2009	4004	CBGA5424	4049-7716	
19	91277	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. L BRANCA	08.05.2009	4026	CBGA5424		
20	91377	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. XL BRANCA	12.05.2009	4006	CBGA7933	5999-5990	
21	91467	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. XL BRANCA	15.05.2009	4006	CBGA5424	777-7777	
22	91470	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. XL BRANCA	15.05.2009	4006	CBGA5424	777-7946	
23	91035	7E+07	BLUSÃO ACOLCHOADO AZUL TAMANHO L	28.04.2009	4010	CBGA5424		
24	91470	7E+07	BLUSÃO ACOLCHOADO AZUL TAMANHO L	15.05.2009	4006	CBGA5424	777-7946	
25	91004	7E+07	PROTECTOR AURICULAR EAR REF. ULTRAFIT	27.04.2009	4002	CBGA7933		
26	91729	7E+07	BROCA IZAR REF. 1020 HSSCO 10,5 MM INOX	26.05.2009	4026	CBGA5424		
27	91730	7E+07	BROCA IZAR REF. 1020 HSSCO 10,5 MM INOX	26.05.2009	4026	CBGA5424		

Figura 131 - Ficheiro “pendentes.xls”

Era prática comum na empresa que sempre que se pretendia saber quais os materiais necessários a encomendar ou contabilizar a quantidade de material que embora estivesse encomendado, não tinha sido fornecido, este processo fosse executado manualmente. Obviamente este processo adicionalmente à morosidade implícita, estava sujeito a erro humano devido à interminável lista de materiais a analisar.

Este programa, é capaz de executar 2 tarefas principais:

- Pesquisar nos dois referidos ficheiros, a existência de materiais no ficheiro “encatraso.xls” que não constem em “pendentes.xls”. O objectivo é determinar quais os materiais que ainda não foram encomendados(figura 132);

1	A	B	C	D	E	F	G	H
2	Reserva	Material	Texto breve material	Data nec.	ClassCont.	Usuário	Recebedor	Qtd.dif.
2	91812	8,2E+07	BLUSÃO ALGODÃO TAMANHO XL	28.05.2009	4002	CBGA5424	6061 3780	1
3	91799	8,2E+07	BLUSÃO ALGODÃO TAMANHO L	28.05.2009	4002	CBGA5424	5424 - C. C.	2
4	91143	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	04.05.2009	4006	CBGA5424		3
5	91144	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	04.05.2009	4006	CBGA5424		3
6	91155	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	05.05.2009	4006	CBGA5424		3
7	91630	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	22.05.2009	4010	CBGA5587		1
8	91663	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	25.05.2009	4010	CBGA5424		1
9	91699	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	26.05.2009	4026	CBGA5424		1
10	91699	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	26.05.2009	4026	CBGA5424		1
11	91699	8,2E+07	BISNAGA TRAVABON 100 ML	26.05.2009	4026	CBGA5424		1
12	91140	7E+07	CHAVE IRIMO 1/2" TORX T-60 REF 170.601	04.05.2009	4026	CBGA5424		1
13	91140	7E+07	CHAVE IRIMO 1/2" TORX T-55 REF 170.551	04.05.2009	4026	CBGA5424		1
14	91140	7E+07	CHAVE IRIMO 1/2" TORX T-50 REF 170.501	04.05.2009	4026	CBGA5424		1
15	91349	7E+07	ALICATE CORTA TUBO USAG REF 314CN	11.05.2009	4006	CBGA7933	4824-7876	1
16	91818	7E+07	VISEIRA EXT MASCARA MIRAPLUS OSE 4/10	28.05.2009	4002	CBGA5424	6062 - 6062	6
17	91820	7E+07	VISEIRA EXT MASCARA MIRAPLUS OSE 4/10	28.05.2009	4002	CBGA5424	6062 - 6062	6
18	91749	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. L CINZA	26.05.2009	4004	CBGA5424	4049-7716	1
19	91277	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. L BRANCA	08.05.2009	4026	CBGA5424		2
20	91377	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. XL BRANCA	12.05.2009	4006	CBGA7933	5999-5990	1
21	91467	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. XL BRANCA	15.05.2009	4006	CBGA5424	777-7777	1
22	91470	7E+07	CAMISOLA T-SHIRT MANGA COMP. XL BRANCA	15.05.2009	4006	CBGA5424	777-7946	2
23	91035	7E+07	BLUSÃO ACOLCHOADO AZUL TAMANHO L	28.04.2009	4010	CBGA5424		1
24	91470	7E+07	BLUSÃO ACOLCHOADO AZUL TAMANHO L	15.05.2009	4006	CBGA5424	777-7946	1
25	91004	7E+07	PROTECTOR AURICULAR EAR REF. ULTRAFIT	27.04.2009	4002	CBGA7933		2
26	91729	7E+07	BROCA IZAR REF. 1020 HSSCO 10,5 MM INOX	26.05.2009	4026	CBGA5424		1
27	91730	7E+07	BROCA IZAR REF. 1020 HSSCO 10,5 MM INOX	26.05.2009	4026	CBGA5424		5
28	91631	7E+07	BROCA IZAR REF. 1020 HSSCO 10 MM INOX	22.05.2009	4026	CBGA5424		5
29	91637	7E+07	BROCA IZAR REF. 1020 HSSCO 10 MM INOX	22.05.2009	4026	CBGA5424		5
30	91638	7E+07	BROCA IZAR REF. 1020 HSSCO 10 MM INOX	22.05.2009	4026	CBGA5424		5

Figura 132 - Lista de matérias que ainda não foram encomendados

- Caso existam materiais iguais nos dois ficheiros, ou seja, materiais que estão encomendados (pelo facto de constarem em “pendentes.xls”), determinar a diferença de entre a quantidade fornecida e a pedida, e expor quais os materiais em que existe este défice assim como a correspondente quantidade a encomendar (figura 133). Isto acontece quando por exemplo já existe uma quantidade encomendada de um determinado material, mas surgiram entretanto mais pedidos.

Resultado.xls [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Material	Qtd.dif.					Material	Qtd.pedido	Qtd.fornecida	Diferença			Material	Qtd Dif.	Qtd pedida-Qtd fornecida	Quantidade de Materiais a Encomendar	
1																	
2	862002	1					802189	50	50	0			862037	320	250	70	
3	862005	3					862007	4	0	4			862071	5	1	4	
4	862006	3					862033	101	0	101			70011011	2	1	1	
5	862008	7					862037	250	0	250							
6	862009	6					862071	1	0	1							
7	862017	1					862074	20	15	5							
8	862027	1					866003	3	0	3							
9	862029	1					866004	40	0	40							
10	862031	5					866031	1	0	1							
11	862033	5					866032	14	0	14							
12	862037	320					866041	2	0	2							
13	862047	3					866046	6	0	6							
14	862049	4					866055	1	1	0							
15	862055	2					866057	1	0	1							
16	862056	2					866095	4	0	4							
17	862057	1					866114	12	0	12							
18	862059	1					866171	10	0	10							
19	862064	11					70000336	1	0	1							
20	862067	1					70005889	30	0	30							
21	862071	5					70007986	5	0	5							
22	866002	5					70010752	10	0	10							
23	866004	10					70010990	2	1	1							
24	866009	5					70010994	2	1	1							
25	866015	3					70011011	1	0	1							
26	866017	2					70011077	15	0	15							
27	866024	1					70013260	5	0	5							
28	866025	3					70013620	4	0	4							
29	866026	1					70013960	12	0	12							
30	866029	6					70014480	4	0	4							
31	866031	1					70014830	5	0	5							
32	866032	5					70014970	4	0	4							
33	866041	1					70015100	3	0	3							
34	866070	1					70016035	1	0	1							
35	866073	4					70016171	1	0	1							

Figura 133 - Determinação de materiais que embora constituam pedidos pendentes processados, possuem um défice entre quantidade pedida e fornecida

Para poder trabalhar com esta aplicação é necessário em primeiro lugar definir a localização dos ficheiros “enc atraso.xls” e “pendentes.xls” (figura 134). Seguidamente a macro é executada pressionando o botão “Iniciar” (ver figura 134).

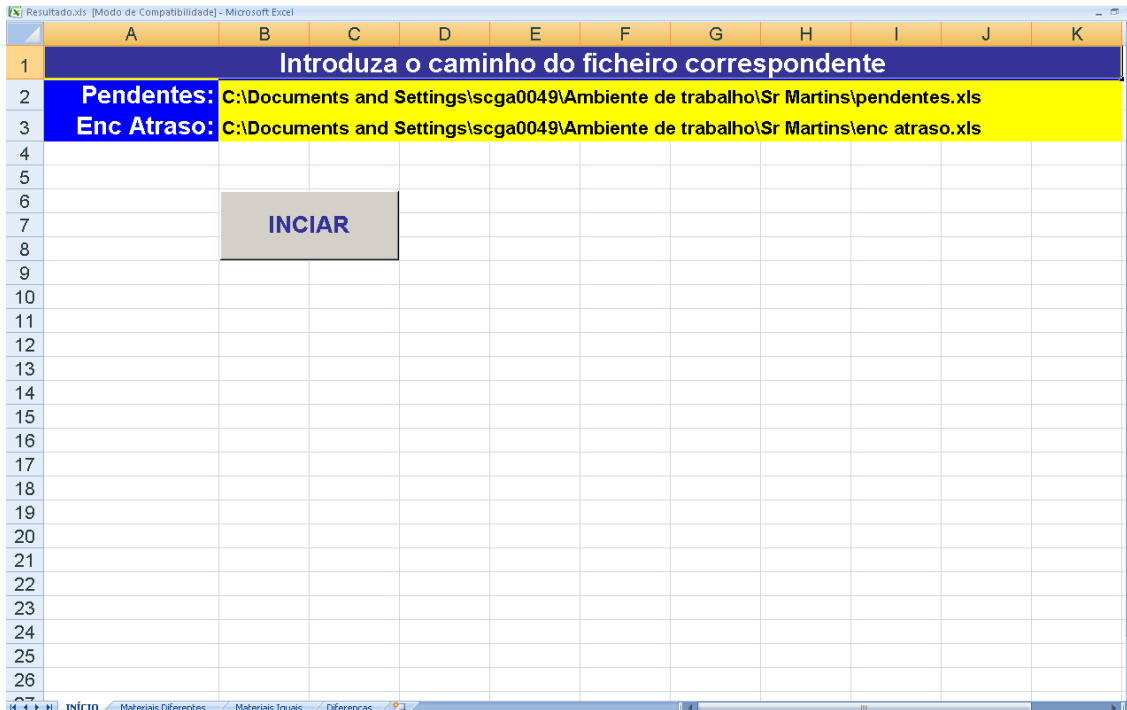


Figura 134 - Interface inicial da macro

O código da macro associada ao botão “Iniciar” que desplota a sua execução é o seguinte:

```
Sub Botão1_Clique()
Dim pendente As Workbook
Dim encatraso As Workbook
Dim resultado As Workbook
Dim path1 As String
Dim path2 As String
Set resultado = ThisWorkbook
path1 = resultado.Sheets(1).Range("b2")
path2 = resultado.Sheets(1).Range("b3")
resultado.Worksheets(2).Activate
Cells.Select
```

Selection.ClearContents

resultado.Worksheets(3).Activate

Cells.Select

Selection.ClearContents

resultado.Worksheets(4).Activate

Cells.Select

Selection.ClearContents

resultado.Sheets(3).Range("d8") = "Ficheiro Pendente"

resultado.Sheets(3).Range("d14") = "Ficheiro Enc Atraso"

resultado.Sheets(3).Range("P1") = "Quantidade de Materiais a Encomendar"

resultado.Sheets(3).Range("S3") = "Materiais a Encomendar"

Application.ScreenUpdating = False

Set pendente = Workbooks.Open(Filename:=path1)

Set encatraso = Workbooks.Open(Filename:=path2)

contmatpend = 0

Do While pendente.Sheets(1).Range("b" & contmatpend + 2) <> ""

contmatpend = contmatpend + 1

Loop

resultado.Sheets(2).Range("a" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("a" & 1)

resultado.Sheets(2).Range("b" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("b" & 1)

resultado.Sheets(2).Range("c" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("c" & 1)

resultado.Sheets(2).Range("d" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("d" & 1)

resultado.Sheets(2).Range("e" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("e" & 1)

resultado.Sheets(2).Range("f" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("f" & 1)

resultado.Sheets(2).Range("g" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("g" & 1)

resultado.Sheets(2).Range("h" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("h" & 1)

resultado.Sheets(3).Range("a" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("b" & 1)

resultado.Sheets(3).Range("b" & 1) = pendente.Sheets(1).Range("h" & 1)

resultado.Sheets(3).Range("g" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("d" & 1)

resultado.Sheets(3).Range("h" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("e" & 1)

resultado.Sheets(3).Range("i" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("g" & 1)

resultado.Sheets(3).Range("j" & 1) = "Diferença"

resultado.Sheets(3).Range("m" & 1) = "Material"

resultado.Sheets(3).Range("n" & 1) = "Qtd Dif."

resultado.Sheets(3).Range("o" & 1) = "Qtd pedida-Qtd fornecida"

resultado.Sheets(4).Range("a" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("a" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("b" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("b" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("c" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("c" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("d" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("d" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("e" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("e" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("f" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("f" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("g" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("g" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("h" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("h" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("i" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("i" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("j" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("j" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("k" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("k" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("l" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("l" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("m" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("m" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("n" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("n" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("o" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("o" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("p" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("p" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("q" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("q" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("r" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("r" & 1)

resultado.Sheets(4).Range("s" & 1) = encatraso.Sheets(1).Range("s" & 1)

Dim resu As Range

Dim find As String

Dim matenc As Range

contmatatr = 0

Do While encatraso.Sheets(1).Range("d" & contmatatr + 2) <> ""

contmatatr = contmatatr + 1

Loop

Set matenc = encatraso.Sheets(1).Range("d" & contmatatr)

espacolinhaprm = 1

For i = 2 To contmatpend + 1

With matenc

Set resu = .find(pendente.Sheets(1).Range("b" & i), LookIn:=xlValues)

If resu Is Nothing Then

espacolinhaprm = espacolinhaprm + 1

resultado.Sheets(2).Range("a" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("a" & i)

resultado.Sheets(2).Range("b" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("b" & i)

resultado.Sheets(2).Range("c" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("c" & i)

resultado.Sheets(2).Range("d" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("d" & i)

resultado.Sheets(2).Range("e" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("e" & i)

resultado.Sheets(2).Range("f" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("f" & i)

resultado.Sheets(2).Range("g" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("g" & i)

resultado.Sheets(2).Range("h" & espacolinhaprm) = pendente.Sheets(1).Range("h" & i)

End If

End With

Next i

'Folha 2

linha = 1

Dim r As Range, findaddress As String

Dim endereco As Long

With pendente.Sheets(1).Range("b2:b" & contmatpend + 1)

For i = 2 To contmatpend + 1

c = 0

```
soma = 0

linha = linha + 1

Set r = .find(pendente.Sheets(1).Range("b" & i))

If Not r Is Nothing Then

    findaddress = r.Address

    Do

        Set r = .FindNext(r)

        c = c + 1

        soma = soma + pendente.Sheets(1).Range("h" & i + c - 1)

        resultado.Sheets(3).Range("a" & linha) = pendente.Sheets(1).Range("b" & i)

        resultado.Sheets(3).Range("b" & linha) = soma

    Loop While Not r Is Nothing And r.Address <> findaddress

End If

i = i + c - 1

Next i

End With

Dim coluna As Long

coluna = Range("c1").End(xlToRight).Column

Dim colunadef As String

colunadef = Chr(96 + coluna) & contmatatr + 1

encatraso.Sheets(1).Range("a1:" & colunadef).Select

Selection.Sort Key1:=Range("D2"), Order1:=xlAscending, Header:=xlYes, _

OrderCustom:=1, MatchCase:=False, Orientation:=xlTopToBottom, _

DataOption1:=xlSortNormal

linha = 1

With encatraso.Sheets(1).Range("d2:d" & contmatatr + 1)

    For i = 2 To contmatatr + 1

        c = 0

        qtdped = 0
```

```
qtdform = 0
linha = linha + 1
Set r = .find(encatraso.Sheets(1).Range("d" & i))
If Not r Is Nothing Then
    findaddress = r.Address
Do
    Set r = .FindNext(r)
    c = c + 1
    qtdped = qtdped + encatraso.Sheets(1).Range("e" & i + c - 1)
    qtdform = qtdform + encatraso.Sheets(1).Range("g" & i + c - 1)
    dif = qtdped - qtdform
    resultado.Sheets(3).Range("g" & linha) = encatraso.Sheets(1).Range("d" & i)
    resultado.Sheets(3).Range("h" & linha) = qtdped
    resultado.Sheets(3).Range("i" & linha) = qtdform
    resultado.Sheets(3).Range("j" & linha) = dif
Loop While Not r Is Nothing And r.Address <> findaddress
End If
i = i + c - 1
Next i
End With
linha = 1
contmatig = 0
Do While resultado.Sheets(3).Range("a" & contmatig + 2) <> ""
    contmatig = contmatig + 1
Loop
With resultado.Sheets(3).Range("g2:g" & contmatig + 1)
For i = 2 To contmatig + 1
    Set r = .find(resultado.Sheets(3).Range("a" & i))
    If Not r Is Nothing Then
```

```
If Not r Is Nothing And resultado.Sheets(3).Range("b" & i) > resultado.Sheets(3).Range("j" & r.Row)
Then
```

```
linha = linha + 1
```

```
findaddress = r.Address
```

```
Do
```

```
Set r = .FindNext(r)
```

```
resultado.Sheets(3).Range("m" & linha) = resultado.Sheets(3).Range("a" & i)
```

```
resultado.Sheets(3).Range("n" & linha) = resultado.Sheets(3).Range("b" & i)
```

```
resultado.Sheets(3).Range("o" & linha) = resultado.Sheets(3).Range("j" & r.Row)
```

```
resultado.Sheets(3).Range("p" & linha) = resultado.Sheets(3).Range("b" & i) -
resultado.Sheets(3).Range("j" & r.Row)
```

```
Loop While Not r Is Nothing And r.Address <> findaddress
```

```
End If
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
End With
```

```
resultado.Worksheets("Materiais Iguais").Activate
```

```
Range("A:B").Select
```

```
Selection.Sort Key1:=Range("A2"), Order1:=xlAscending, Header:=xlGuess, _
```

```
OrderCustom:=1, MatchCase:=False, Orientation:=xlTopToBottom, _
```

```
DataOption1:=xlSortNormal
```

```
Range("M:P").Select
```

```
Selection.Sort Key1:=Range("M2"), Order1:=xlAscending, Header:=xlGuess, _
```

```
OrderCustom:=1, MatchCase:=False, Orientation:=xlTopToBottom, _
```

```
DataOption1:=xlSortNormal
```

```
*****
*****
```

```
espacolinhaprm = 1
```

```
contmatatr = 0
```


Do While encatraso.Sheets(1).Range("d" & contmatatr + 2) <> ""

contmatatr = contmatatr + 1

Loop

For i = 2 To contmatatr + 1

If encatraso.Sheets(1).Range("e" & i) <> encatraso.Sheets(1).Range("g" & i) Then

 espacolinhaprm = espacolinhaprm + 1

 resultado.Sheets(4).Range("a" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("a" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("b" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("b" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("c" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("c" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("d" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("d" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("e" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("e" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("f" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("f" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("g" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("g" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("h" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("h" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("i" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("i" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("j" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("j" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("k" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("k" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("l" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("l" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("m" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("m" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("n" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("n" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("o" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("o" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("p" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("p" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("q" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("q" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("r" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("r" & i)

 resultado.Sheets(4).Range("s" & espacolinhaprm) = encatraso.Sheets(1).Range("s" & i)

End If

Next i

End Sub

Referências

- [1] “Uniform technical prescriptions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure”, em: “Agreement concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these prescriptions”, Addendum 65 : Regulation No. 66, Revision 1, E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505, Rev.1/Add.65/Rev.1, 22 February 2006; ver: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs/r066r1e.pdf>
- [2] Directiva 2001/85/ce do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de Novembro de 2001 relativa a disposições especiais aplicáveis aos veículos destinados ao transporte de passageiros com mais de oito lugares sentados além do lugar do condutor e que altera as Directivas 70/156/CEE e 97/27/CE, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 42/1, 13.2.2002;ver:<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:042:0001:0102:PT:PDF>
- [3] SolidWorks 2008
- [4] COSMOSWorks 2008
- [5] António Domingos Araújo Morais, “Optimização do projecto da estrutura de autocarros com software de Computer Aided Engineering”, Projecto de Fim de Curso, Licenciatura em Engenharia Mecânica, Opção Projecto de Máquinas, 2003/2004, FEUP, Julho de 2004
- [6] André Filipe Sousa Ramos, Projecto de Fim de Curso, Licenciatura em Engenharia Mecânica, Opção Construções Mecânicas, 2006/2007, FEUP, Julho de 2007
- [7] Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios, decreto-lei nº211/86, de 31 de Julho; Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 1986